

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

Aplicação da *Data Envelopment Analysis* na
determinação da eficiência empresarial em ambientes
colaborativos

Afonso Dourado

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Prof. Doutora Alexandra Tenera

Lisboa
2009

Salmo 23

*“O Senhor é meu pastor.
Nada me falta.
Em verdes prados me faz repousar;
para fontes tranquilas me conduz,
e restaura minhas forças.
Ele me guia por bons caminhos,
Por causa do seu Nome.
Embora eu caminhe por uma vale tenebroso,
Nenhum mal temerei, pois está junto a mim;
o teu bastão e o teu cajado me deixam tranquilo.
Diante de mim preparas a mesa,
À frente dos meus opressores,
unges a minha cabeça com óleo,
e a minha taça transborda.
Sim, felicidade e amor me acompanham
Todos os dias da minha vida.
A minha morada é a casa de Deus,
por estes dias sem fim.”*

*“Pois é
dando que se recebe,
E perdando que se é perdoado,
e é morrendo que ressuscita
para a Vida Eterna.”
Oração de São Francisco*

RESUMO

A DEA (*Data Envelopment Analysis*) ganhou reconhecimento mundial, através da sua aplicação em diversas áreas, que vão desde a educação, saúde, banca e seguros, entre outros.

Neste trabalho procura-se demonstrar que a DEA é uma ferramenta capaz de calcular a eficiência relativa num campo de aplicação relativamente pouco explorado, como é o caso das redes colaborativas, através do estudo de uma amostra de 12 empresas pertencentes á rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*. No estudo efectuado, foram utilizados três *inputs*, *Qualidade*, *Fiabilidade* e *Situação Económica* (ES - Situação Económica) e três *outputs*, *Benefícios Externos* (EB), *Benefícios de Contribuições Sociais* (SCB) e *Colaboração*. Através da aplicação dos indicadores referidos, nos modelos CCR (*Charnes, Cooper e Rhodes*) e BCC (*Banker, Charnes e Cooper*), procura-se encontrar as DMUs que são eficientes e quais as DMUs que têm de melhorar o seu índice de eficiência.

Palavras-chave: redes colaborativas, eficiência relativa, DEA.

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis has gain worldwide recognition through its applications in areas, such as, Education, Health, Banking and Insurance, among others.

In this dissertation the main goal is to demonstrate that DEA is suitable to be applied in calculating the relative efficiency, in a field yet rather unexplored of the collaborative networks, using for that purpose, the case study of Virtuelle Fabrik, with a sample of 12 enterprises. The study was conducted, using three inputs, Quality, Reliability and Economical Situation, and three outputs External Benefits, Social Contribution Benefits and Collaboration. By applying the CCR (Charnes Cooper and Rhodes) and BCC (Banker Charnes Cooper) models, it's intended to demonstrate which of DMUs (Decision Making Units) are efficient and those that have to improve their efficiency score.

Keywords: collaborative networks, relative efficiency, DEA.

AGRADECIMENTOS

O processo de elaboração de uma dissertação pode ser uma jornada tão difícil quanto venturosa e frutuosa. Não só pelo crescimento académico inerente a um processo deste tipo, como pelo crescimento humano, do qual só podemos escapar se não nos entregarmos com verdade no seu processo de criação.

Ao longo do que começou por ser uma licenciatura e que se tornou, há muito pouco tempo, num mestrado integrado, senti a experiência do crescimento pessoal, académico, intelectual e social.

No final deste percurso, não posso deixar de agradecer em particular ao professor Dr. António Abreu, não pela ajuda e acompanhamento esmerado que deu a este projecto de dissertação, mas por ter potenciado também o meu crescimento humano. Queria também agradecer o apoio fundamental para o chegar a bom porto, da professora Dr.^a. Alexandra Tenera, que com o seu exemplo de trabalho e dedicação, me foi inspirando ao longo do curso.

Queria aproveitar para destacar algumas pessoas que serviram como exemplo e que em momentos mais complicados do curso me fizeram ver o outro lado, o lado que nos obriga a crescer e ser melhores. Ao professor Dr. Jorge Lampreia, por nunca se ter negado a nenhuma ajuda e por ter conseguido incutir em mim, muito do sentido de responsabilidade. À professora Dr.^a. Zulema Lopes Pereira, pela forma humana e próxima como sempre tratou os seus alunos. Aos professores da secção da Qualidade, José Requeijo, Rogério Puga Leal e Ana Sofia Matos, com quem aprendi o rigor. Ao professor António Grilo, por nos colocar mais perto da realidade do “mundo lá fora” e fazer como poucos a ligação faculdade-mundo profissional.

Ao professor José Cabeças, por me ter obrigado a ler o código deontológico dos engenheiros e me ter, indirectamente, mostrado a importância e o lugar que um engenheiro pode ter na vida dos outros que dele dependem.

Aos serviços académicos da FCT, em particular o GAM, por terem sido incansáveis aquando da minha ida para Roma, no âmbito do programa *Erasmus*.

Por fim aos meus amigos e colegas, em particular ao João Norton dos Reis, pelas inúmeras noites de estudo e conversa, ao Afonso Paixão e ao Pedro Carrilho, pelos muitos trabalhos e momentos de descontração, á “Passarinho” Mascarenhas de Lemos, á Matilde Lima e muitos outros que contribuíram, em muito, para chegar ao fim deste percurso

Não posso deixar de agradecer também aos que, no meu percurso, me fizeram perceber que o mundo não é um lugar fácil, me fizeram aguentar as injustiças e faltas de verdade.

Se tivermos confiança, nada nos poderá perturbar.

Na minha esfera pessoal agradeço á minha mãe, pelo exemplo, ao meu avô pela sua presença na minha vida que me marcará como homem e á minha nova família, tia Manelinha e tio Ricardo Crawford do Nascimento, para que possam estar perto o suficiente para aprender continuamente com o seu exemplo.

E a ti Mariana, pelo que Deus nos reserva a partir de Setembro, pelos dois anos que passaram, no fundo, simplesmente por estares aqui, tão perto.

ÍNDICE DE CONTEÚDOS

INTRODUÇÃO	19
1.1 Relevância do tema	19
1.2 Objectivos da dissertação	20
1.3 Método de investigação	21
1.4 Estrutura da dissertação	22
ANÁLISE DOS CONCEITOS DE EFICÁCIA, PRODUTIVIDADE, EFICIÊNCIA E REDES COLABORATIVAS.....	24
2.1 Eficácia, Produtividade e Eficiência	25
2.1.1 Eficácia	25
2.1.2 Produtividade	26
2.1.3 Eficiência	28
A DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS).....	35
3.1. As origens da DEA: Enquadramento histórico	35
3.2 Estudos, aplicações e áreas de estudo da ferramenta DEA	39
3.3. Caracterização da DEA.....	46
3.3.1 Definição	46
3.3.2 Características dos modelos	51
3.3.3 Exemplos de aplicação	63
3.4 Definição taxonómica de problemas em DEA	84
3.5 Aplicações informáticas para a aplicação da DEA	88
ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE UM CONJUNTO DE EMPRESAS PERTENCENTES A UMA REDE COLABORATIVA.....	95
4.1 Introdução	95
4.2 Caso de estudo: <i>Virtuelle Fabrik</i>	95
4.2.1 As redes colaborativas de empresas	95
4.2.2 Descrição do caso de estudo	99
4.2.3 Definição dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	100
4.2.4. Construção do modelo	103
4.3. Análise de Resultados	103
4.3.1 Análise dos resultados obtidos para o modelo CCR	108
4.3.2 Análise dos resultados obtidos para o modelo BCC	110
4.3.3 Análise pormenorizada de uma DMU ineficiente - DMU B modelo BCC	111
4.3.4 Análise pormenorizada de uma DMU eficiente – DMU L modelo BCC	114
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
5.1 Considerações finais	117
5.2 Conclusões e limitações da técnica DEA	118
5.3. Conclusões e limitações do caso de estudo <i>Virtuelle Fabrik</i>	119
5.4 Recomendações para trabalhos futuros	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
ANEXOS	129
Anexo A - Taxonomia de <i>Gatouffi</i> para problemas analisados por DEA	130
Anexo B - Classificação dos <i>softwares</i> para aplicação em DEA	137
Anexo C - Indicadores de colaboração da rede colaborativa <i>Virtuelle Fabrik</i>	139
Anexo D - Tabelas e Figuras complementares á análise de resultados	142
Anexo E - CD	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Resumo do método da dissertação.....	21
Figura 2 - Diagrama de análise das medidas de desempenho, Produtividade e Eficiência.....	33
Figura 3 - Cronologia das origens da DEA- anos 50	36
Figura 4 - Cronologia das origens da DEA- anos 60	37
Figura 5 - Cronologia das origens da DEA- anos 70	38
Figura 6 - Número de publicações DEA por ano	42
Figura 7 - Ranking dos 20 jornais com maior número de artigos publicados	42
Figura 8 - Número de autores por publicação	43
Figura 9 - Percentagem de publicações pelos 12 autores mais importantes	43
Figura 10 - Percentagem de publicações, em função do número de páginas.....	44
Figura 11 - Os modelos DEA: categorias de caracterização	51
Figura 12 - Comparação da abordagem <i>input</i> e da abordagem <i>output</i>	54
Figura 13 - Fluxograma da aplicação da ferramenta DEA	60
Figura 14 - Modelação do exemplo 1 no Excel	66
Figura 15 - Parâmetros de entrada para análise pelo Solver	67
Figura 16 - Resultado da ferramenta Solver.....	67
Figura 17 - Relação entre os outputs Y1 e Y2 e a respectiva fronteira de eficiência	69
Figura 18 - Parametrização da DMU1 no Solver	70
Figura 19 - Relatório de Sensibilidade da DMU5	71
Figura 20 - Selecção dos <i>inputs</i> no xIDEA.xls.....	73
Figura 21 - Selecção dos <i>outputs</i> no xIDEA.xls	73
Figura 22 - Selecção do modelo e orientação do modelo no xIDEA.xls	74
Figura 23 - <i>Navigator</i> - menu de respostas do xIDEA.xls.....	74
Figura 24 - Folha de índices do xIDEA.xls	75
Figura 25 - Gráfico de índices de eficiência das DMUs obtido pelo xIDEA.xls.....	75
Figura 26 - <i>Score frequencies</i> obtido pelo xIDEA.xls	76
Figura 27 - <i>Frequencies chart</i> do xIDEA.xls	76
Figura 28 - <i>Peers</i> do xIDEA.xls	77
Figura 29 - <i>Virtual inputs and outputs</i> do xIDEA.xls	77
Figura 30 - <i>Slacks</i> do xIDEA.xls	78
Figura 31 - Fronteira eficiente do exemplo com 2 <i>inputs</i> e 1 <i>output</i>	79
Figura 32 - Modelação em Solver da DMU no exemplo 2X1Y	80
Figura 33 - Quadro dos resultados.....	81
Figura 34 - Apresentação dos dados em DEA-SAED v1.0	82
Figura 35 - Resultados do problema exemplo obtido em DEA-SAED v1.0	82
Figura 36 - Ranking das DMUs obtido no DEA-SAED v1.0	83
Figura 37 - Resultados de eficiência relativa de cada DMU.....	83
Figura 38 - Taxonomia baseada em descrição por vectores.....	86
Figura 39 - Proposta de apresentação da definição taxonómica em DEA, de casos de estudo.....	87
Figura 40 - Cooperação Organizativa por área de intervenção.....	96
Figura 41 - Exemplos de redes colaborativas	97
Figura 42 - Modelo DEA da rede colaborativa <i>Virtuelle Fabrik</i>	99
Figura 43 - Critérios de avaliação: Categoria A.....	137
Figura 44 - Critérios de avaliação: Categoria B.....	137
Figura 45 - Critérios de avaliação: Categorias C, D e E.....	138
Figura 46 - Critérios de avaliação: Categoria F, G e H.....	138
Figura 47 - Índices de eficiência (com sistema traffic light) CCR – Output.....	142

Figura 48 - Gráfico das melhorias totais (<i>Total potencial improvements</i>) CCR - <i>Output</i>	142
Figura 49 - Frequências absolutas dos <i>índices</i> de eficiência CCR – <i>Output</i>	142
Figura 50 - <i>Índices</i> de eficiência (com sistema <i>traffic light</i>) CCR – <i>Input</i>	147
Figura 51 - Gráfico das melhorias totais(<i>Total potencial improvements</i>) CCR - <i>Input</i>	147
Figura 52 - Frequências absolutas dos <i>índices</i> de eficiência CCR – <i>Input</i>	148
Figura 53 - <i>Índices</i> de eficiência (com sistema <i>traffic light</i>) BCC - <i>Output</i>	152
Figura 54 - Gráfico das melhorias totais(<i>Total potencial improvements</i>) BCC – <i>Output</i>	153
Figura 55 - Frequências absolutas dos <i>índices</i> de eficiência BCC – <i>Output</i>	153
Figura 56 - <i>Índices</i> de eficiência (com sistema <i>traffic light</i>) BCC – <i>Input</i>	158
Figura 57 - Gráfico das melhorias totais(<i>Total potencial improvements</i>) BCC – <i>Input</i>	158
Figura 58 - Frequências absolutas dos <i>índices</i> de eficiência BCC - <i>Input</i>	158

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Lista das keywords mais utilizadas, por número de publicações	45
Tabela 2 - Inputs/Outputs do exemplo dos balcões de um Banco	48
Tabela 3 - Resumo dos dados do exemplo dos balcões de um Banco	49
Tabela 4 - Condições de aplicabilidade da técnica DEA	64
Tabela 5 - Condições de aplicabilidade da técnica DEA (continuação)	65
Tabela 6 - Dados do exemplo 1	68
Tabela 7 - Modelação da DMU1 em Solver.....	70
Tabela 8 - Resumo dos resultados de eficiência relativa das 5 DMUs do exemplo 1	71
Tabela 9 - Melhoria do resultado de eficiência da DMU5, usando a DMU2 como referência	72
Tabela 10 - Tabela dos resultados obtidos pelos xIDEA.xls	75
Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos pelo SOLVER.xls e pelo xIDEA.xls	78
Tabela 12 - Dados do exemplo com 2 inputs e 1 output	79
Tabela 13 - Formulação da DMU1 em Excel no exemplo 2	80
Tabela 14 - Dados do problema do exemplo 3	81
Tabela 15 - As 4 classes que compõem a sistematização taxonómica de Gattoufi ..	86
Tabela 16 - As 4 classes que compõem a sistematização taxonómica de Gattoufi (continuação).....	87
Tabela 17 - As ferramentas informáticas para aplicação em análises por DEA.....	92
Tabela 18 - As 8 categorias criadas por Barr na classificação dos softwares para aplicação em problemas resolvidos por DEA.....	92
Tabela 19 - As 8 categorias criadas por Barr na classificação dos softwares para aplicação em problemas resolvidos por DEA (continuação).	93
Tabela 20 - Caracterização da diferenciação estrutural das redes colaborativas	98
Tabela 21 - Indicadores utilizados para o estudo de análise de eficiência do caso de estudo	101
Tabela 22 - Modelo e dados do caso de estudo.....	103
Tabela 23 - Catalogação dos parâmetros de análise no caso de estudo	104
Tabela 24 - Rankings parciais e totais das DMUs (em análise a priori)	105
Tabela 25 - Rankings parciais e totais das DMUs (em análise <i>a priori</i>)	106
Tabela 26 - Valores dos retornos de escala RTS do modelo BCC output.....	107
Tabela 27 - Índices de eficiência	107
Tabela 28 - Resumo dos resultados obtidos para os modelos CCR e BCC (input e output)	108
Tabela 29 - Valores percentuais que permitem a translação das DMUs ineficientes para a fronteira de eficiência	109
Tabela 30 - Resultados da DMU B no modelo BCC, orientação output	112
Tabela 31 - Resultados da DMU B no modelo BCC, orientação output (continuação)	112
Tabela 32 - Resultado de eficiência, RTS, Refs e Peers da DMU L	115
Tabela 33 - Resultados relativos á DMU L	115
Tabela 34 - Resultados relativos á DMU L (continuação 1).	116
Tabela 35 - Resultados relativos á DMU L (continuação 2).	116
Tabela 36 - Resultados CCR - Output.....	143
Tabela 37 - Resultados CCR - Output (continuação 1).....	143
Tabela 38 - Resultados CCR - Output (continuação 2).....	144
Tabela 39 - Resultados CCR - Output (continuação 3).....	144

Tabela 40 - Resultados CCR - Output (continuação 4)	144
Tabela 41 - Resultados CCR - Output (continuação 5)	145
Tabela 42 - Resultados CCR - Output (continuação 6)	145
Tabela 43 - Resultados CCR - Output (continuação 7)	146
Tabela 44 - Resultados CCR - Output (continuação 8)	146
Tabela 45 - Resultados CCR - Output (continuação 9)	146
Tabela 46 - Resultados CCR - Output (continuação 10)	147
Tabela 47 - Resultados CCR - Input	148
Tabela 48 - Resultados CCR - Input (continuação 1)	148
Tabela 49 - Resultados CCR - Input (continuação 2)	149
Tabela 50 - Resultados CCR - Input (continuação 3)	149
Tabela 51 - Resultados CCR - Input (continuação 4)	150
Tabela 52 - Resultados CCR - Input (continuação 5)	150
Tabela 53 - Resultados CCR - Input (continuação 6)	150
Tabela 54 - Resultados CCR - Input (continuação 7)	151
Tabela 55 - Resultados CCR - Input (continuação 8)	151
Tabela 56 - Resultados CCR - Input (continuação 9)	151
Tabela 57 - Resultados CCR - Input (continuação 10)	152
Tabela 58 - Resultados CCR - Input (continuação 11)	152
Tabela 59 - Resultados BCC - Output	153
Tabela 60 - Resultados BCC - Output (continuação 1)	154
Tabela 61 - Resultados BCC - Output (continuação 2)	154
Tabela 62 - Resultados BCC - Output (continuação 3)	154
Tabela 63 - Resultados BCC - Output (continuação 4)	155
Tabela 64 - Resultados BCC - Output (continuação 5)	155
Tabela 65 - Resultados BCC - Output (continuação 6)	155
Tabela 66 - Resultados BCC - Output (continuação 7)	156
Tabela 67 - Resultados BCC - Output (continuação 8)	156
Tabela 68 - Resultados BCC - Output (continuação 9)	156
Tabela 69 - Resultados BCC - Output (continuação 10)	157
Tabela 70 - Resultados BCC - Output (continuação 11)	157
Tabela 71 - Resultados BCC - Input	159
Tabela 72 - Resultados BCC - Input (continuação 1)	159
Tabela 73 - Resultados BCC - Input (continuação 2)	160
Tabela 74 - Resultados BCC - Input (continuação 3)	160
Tabela 75 - Resultados BCC - Input (continuação 4)	160
Tabela 76 - Resultados BCC - Input (continuação 5)	161
Tabela 77 - Resultados BCC - Input (continuação 6)	161
Tabela 78 - Resultados BCC - Input (continuação 7)	161
Tabela 79 - Resultados BCC - Input (continuação 8)	162
Tabela 80 - Resultados BCC - Input (continuação 9)	162

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abreviatura	Definição Original	Definição em Português
BCC	Banker Charnes and Cooper Model	Modelo Banker Charnes Cooper e Rhodes
CCR	Charnes Cooper and Rhodes Model	Modelo Charnes Cooper e Rhodes
CRS	Constant Returns of Scale	Retornos Constantes de Escala
DEA	Data Envelopment Analysis	Análise Envoltória de Dados
DMU	Decision Making Units	Unidades Decisoras
EB	External Benefits	Benefícios Externos
ES	Economical Situation	Situação Económica
FPP	Função Produção Parcial	
FPT	Função Produção Total	
LHS	Left hand side	Lado esquerdo
MS	Management sciences	Ciências de Gestão
OR	Operations Research	Investigação Operacional
PL	Programação Linear	
RCE	Retornos Constantes de Escala	
RCE	Retornos Crescentes de Escala	
RDE	Retornos Decrescentes de Escala	
RHS	Right hand side	Lado direito
RVE	Retornos Variáveis de Escala	
SCB	Social Contribution Benefits	Benefícios de Contribuição Social
VBE	Virtual Breeding Environment	Ambiente de Gestação Virtual
VE	Virtual Enterprise	Empresa Virtual
VF	Virtuelle Fabrik	
VO	Virtual Organization	Organização Virtual
VRS	Variable Returns of Scale	Retornos Variáveis de Escala
WFEA	Western Farm Economic Association	

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O objectivo geral desta dissertação é, de um modo lato, compreender como o modelo de análise de eficiência relativa, DEA (*Data Envelopment Analysis*), pode ser aplicado na análise de eficiência relativa no contexto das redes colaborativas.

Após a apresentação do tema e dos objectivos a que esta dissertação se propõe alcançar, é apresentada uma estrutura dos capítulos que a compõem e a metodologia seguida na sua elaboração.

1.1 Relevância do tema

Num contexto de crise económica, ganha maior actualidade, os estudos que são capazes de aferir se uma determinada entidade, colectiva ou singular, micro ou macro económica é eficiente.

A eficiência pode ser mensurada recorrendo a diversos métodos, tais como, funções de produção e funções de custo, mas o recurso á DEA é justificado pelo número de artigos e publicações que foram publicados nas últimas três décadas em que a quantidade de estudos efectuados e as diferentes áreas de aplicação, são indicadores do potencial da DEA na medição da eficiência relativa no âmbito das redes colaborativas de empresas (Emrouznejad *et al*, 2008).

Para um conjunto de empresas, pertencentes a uma rede colaborativa, a análise de eficiência relativa por DEA é capaz de calcular índices de eficiência que depois permitem agrupar as empresas em análise em *rankings* (posicionamentos), que indicam a maior ou menor capacidade que as empresas têm de beneficiar pela sua integração nessa mesma rede.

A análise de eficiência é efectuada recorrendo a indicadores, definidos como *inputs* ou *outputs*, que reflectem as contribuições de e para a rede colaborativa de cada unidade constituinte da rede.

A DEA permite quantificar, para cada indicador utilizado, a sua redução ou acréscimo, que permite aumentar o índice de eficiência da unidade em causa. Sendo assim, a DEA não só indica as unidades, DMUs (*Decision Making Units*), que são capazes de utilizar eficientemente o conjunto de *inputs* (entradas ou recursos) na realização dos resultados ou

outputs (resultados), como é capaz de para unidades não eficientes, calcular o quanto têm de variar cada um dos seus indicadores, para se tornarem em unidades eficientes.

Este estudo procura demonstrar a capacidade de aplicação do modelo DEA, também no contexto das redes colaborativas de empresas, através da análise dos recursos utilizados e dos resultados obtidos, pelo conjunto de empresas. A obtenção de um *ranking* de eficiência das empresas em estudo, permitirá estabelecer um conjunto de referência, em que as empresas melhor classificadas, serão tidas como referência para as empresas que tenham obtido índices de eficiência mais baixos.

Para o processo de tomada de decisão este pode ser um modelo revestido de interesse, uma vez que permite identificar quais são as melhores unidades, de um conjunto de unidades pares entre si, criando um sistema de referência para unidades não tão eficientes. Depois de identificadas as unidades eficientes e ineficientes, a DEA, calcula as diferenças reais entre os valores dos diferentes indicadores de cada DMU, permitindo estabelecer objectivos de crescimento ou redução, devidamente calculados. Desta forma poderão ser estabelecidas estratégias de colaboração mais assertivas e identificar e adoptar as práticas que permitem um crescimento dos benefícios obtidos pela colaboração na rede de empresas em análise.

1.2 Objectivos da dissertação

Nesta dissertação surgem três perguntas fundamentais às quais se procura responder, que se apresentam como resumo de todo o estudo:

Q.1: Como pode ser efectuada a avaliação de desempenho, através da medição da eficiência relativa de um conjunto de unidades pares entre si, através do recurso á ferramenta DEA?

Q.2: Será que a DEA pode ser aplicada na análise de eficiência relativa de empresas que pertencem a uma mesma rede colaborativa?

Q.3: Como é que a DEA pode ser utilizada para se tornar uma mais valia no processo de tomada de decisão, para empresas que estejam em ambientes colaborativos e que procurem melhorar os resultados obtidos pela sua permanência em contexto colaborativo?

Podem-se ainda identificar alguns objectivos mais específicos:

- Q.1.1: Apresentar e discutir, conceitos e abordagens teóricas sobre a temática da eficiência, mais concretamente a eficiência relativa;

- Q.1.2: Compreender as singularidades do conceito de eficiência, quando aplicado no contexto colaborativo;
- Q.2.1: Aprofundar o conhecimento técnico sobre a ferramenta DEA;
- Q.3.1: Aplicar a ferramenta DEA num caso real e procurar aferir da capacidade da mesma fornecer resultados válidos e robustos;

Procura-se demonstrar como a ferramenta DEA poderá constituir uma mais valia quando adoptada pelas organizações, na procura da melhoria continua, que se reflecte num grau elevado de eficiência, relativamente aos demais elementos presentes no seu ambiente de concorrência.

1.3 Método de investigação

Este estudo procura assim, contribuir para uma compreensão mais assertiva e aprofundada da DEA, revelando a sua mais valia na análise de eficiência relativa.

Assim sendo, o método de investigação pode ser resumido na Figura 1 que se segue.

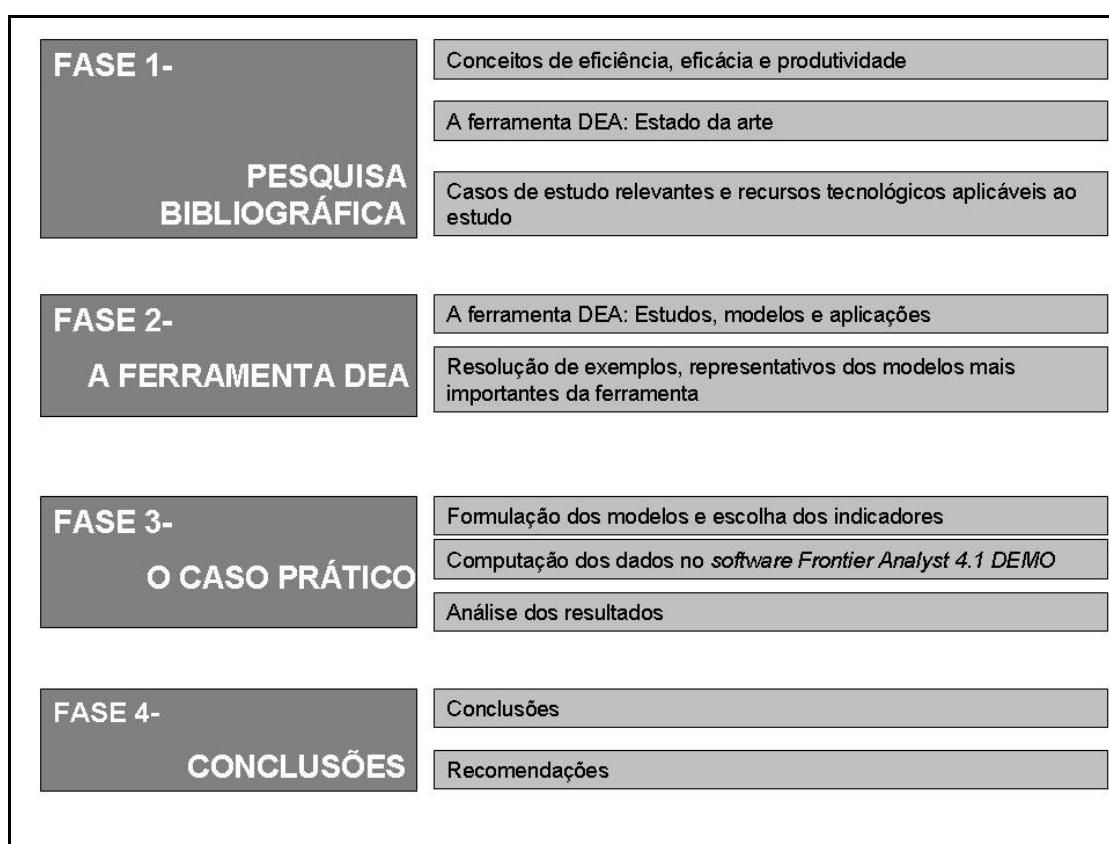


Figura 1 - Resumo do método da dissertação

Esta dissertação seguiu 4 fases, diferentes entre si:

- A primeira fase, de pesquisa bibliográfica, resume-se como sendo a procura de publicações que pudessem aprofundar os conhecimentos em três áreas específicas:
 1. Os conceitos de eficácia, eficiência e produtividade;
 2. A ferramenta DEA: origens, evolução e estado da arte;
 3. Casos de estudo relevantes (organizados por áreas de interesse, p.e., saúde, educação, indústrias várias, banca e serviços, entre outros).

- Numa segunda fase procurou-se aprofundar o conhecimento sobre a ferramenta DEA, através da análise de casos de estudo, artigos e outras publicações. Foram também criados (alguns originais outros adaptados de problemas já existentes) problemas práticos para resolução num conjunto de *softwares* que resolvem modelos DEA, de forma a aumentar o domínio sobre, a formulação dos modelos DEA e a compreensão dos resultados obtidos.

- A terceira fase, apresenta-se como a mais prática de todo o estudo, uma vez que o modelo DEA é aplicado a um caso real, a rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*. Nesta fase é apresentada uma definição de eficiência relativa específica, atendendo às singularidades do caso de estudo, são estudados e apresentados os indicadores utilizados e por fim o estudo é realizado recorrendo a um *software*, o *Frontier Analyst 4.1 DEMO* da Empresa *Banxia*, ao qual se segue uma análise dos resultados obtidos.

- A quarta e derradeira fase do estudo, procura fazer uma crítica a todo o estudo efectuado, que procura centrar-se na relação de eficácia entre objectivos apresentados *a priori* e resultados obtidos pós-estudo.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em capítulos. Neste primeiro capítulo foi introduzido o tema da dissertação e é apresentada a sua estrutura. No segundo capítulo foram apresentados quatro conceitos teóricos, cuja compreensão e domínio, são importantes para uma correcta compreensão do estudo em causa. Assim são aprofundados os conhecimentos nos conceitos de Eficácia, Produtividade e Eficiência, procurando perceber como se calculam e quais as informações que podem ser obtidas pela sua aplicação. Um quarto conceito estudado no segundo capítulo é o conceito das redes colaborativas. Sendo este o campo de aplicação do nosso caso de estudo, torna-se pertinente compreender melhor o que são e quais os tipos de redes colaborativas de empresas existentes.

No terceiro capítulo é apresentada, de uma forma global, a ferramenta DEA. Primeiro procurou-se compreender o contexto histórico em que foi criada a DEA, fazendo a ligação a outras teorias sobre a eficiência. Num segundo ponto foram apresentados os autores, trabalhos e áreas de aplicação que mais contribuíram para a disseminação da DEA. A apresentação das formulações dos vários modelos da DEA foi feita de seguida, com as formulações matemáticas originais e alguns exemplos resolvidos, na tentativa de contribuir para uma melhor compreensão da ferramenta DEA. O terceiro capítulo termina com dois subcapítulos, um sobre a definição taxonómica dos problemas e casos de estudo, onde é aplicada a DEA, e outro sobre os *softwares* existentes para resolver problemas de análise de eficiência relativa por DEA, procurando perceber não só quais os *softwares* existentes, assim como se criam os mesmos.

A discussão dos resultados relativos a este caso de estudo foi efectuada no quarto capítulo. Neste capítulo é apresentado em primeiro lugar a rede colaborativa em estudo, a *Virtuelle Fabrik*, e são apresentados e discutidos os resultados referentes aos modelos da DEA aplicados na obtenção dos índices de eficiência.

No quinto capítulo foram tiradas algumas relações relativamente ao estudo efectuado e á ferramenta DEA, apresentando as conclusões e limitações identificadas, tanto no estudo como para a DEA. Para terminar são apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros. A dissertação conclui com as referências bibliográficas e um conjunto de elementos anexos.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DOS CONCEITOS DE EFICÁCIA, PRODUTIVIDADE, EFICIÊNCIA E REDES COLABORATIVAS

A compreensão dos conceitos, Eficácia, Produtividade Eficiência e Redes Colaborativas, é essencial para uma total compreensão deste estudo.

Os três primeiros conceitos são sinónimos de medidas de desempenho e torna-se pertinente então perceber qual a utilidade de cada um deles, como ferramenta de auxílio á decisão e

de que forma depois se relacionam com a ferramenta DEA utilizada para o caso de estudo em análise.

As Redes Colaborativas surgem de uma estratégia empresarial que visa a obtenção de melhores resultados por parte das empresas que optam por integrar num sistema colaborativo deste tipo. De forma a compreender inteiramente o caso de estudo, é também aprofundado o conhecimento neste tipo de ambientes de interacção e cooperação empresarial.

2.1 Eficácia, Produtividade e Eficiência

Convém começar por perceber o papel que têm as medidas de desempenho. Quando se efectua uma análise de um dos destes indicadores, existe um conjunto de objectivos que têm de ser alcançados, ou melhor, um conjunto de informações sobre o processo produtivo que é necessário o gestor/decisor adquirir, para posteriormente analisar, de forma a definir a estratégia futura. Assim o recurso á análise de medidas de desempenho permite, entre outros:

1. Identificar oportunidades de melhoria no processo produtivo e corrigir eventuais problemas;
2. Acompanhar a evolução de uma entidade produtiva;
3. Comparar diferentes períodos de produção entre si;
4. Acompanhar o planeamento da produção (numa perspectiva de controlo);
5. Avaliar o desempenho de diferentes unidades, ou de uma só unidade, mas em diferentes períodos de tempo.

Torna-se assim necessário identificar quais as respostas que se podem retirar de cada uma das medições de, Eficácia Produtividade e Eficiência.

Podemos resumir os três conceitos da seguinte forma:

Conceito	Análise focalizada	Pergunta tipo associada
Eficácia	Nos produtos e resultados	O que fazer?
Produtividade	Nos produtos e recursos	Faz-se da melhor maneira?
Eficiência	No processo	Como fazer?

2.1.1 Eficácia

Definida como uma medida efectuada com base no nível de serviço que pode ser oferecido dentro de uma restrição de custos (Tersine, 1980).

A Eficácia mede a relação entre os resultados obtidos e os resultados desejados ou previstos. Se objectivo for produzir pilhas, ou candeeiros, ou transístores, o resultado final deve ser concordante com o inicialmente estipulado. Resume-se eficácia como sendo a capacidade de produzir o que deve ser produzido. A sua medida afere o grau com que uma entidade atinge os seus objectivos.

$$EFICÁCIA = \frac{RESULTADO REALIZADO}{RESULTADO PLANEADO} \quad (1)$$

Desta equação podemos extrair um resultado negativo. Se o indicador for <1 , o resultado obtido, não está conforme o que foi projectado ou definido, o que pode apontar para uma má organização ou deficiências no processo produtivo.

Se o indicador for > 1 , os resultados foram pelo menos os esperados e aqui tem de haver uma análise cuidada entre o que foi previsto e o que foi obtido. Considere-se o caso de um aluno que numa avaliação aponta o resultado de 8 valores como aceitável, mas na realidade consegue obter um resultado de 8,5 valores. Face ao seu objectivo inicial, o aluno obteve um resultado acima do esperado, mas o resultado obtido não é suficiente para obter aprovação. Este é um caso onde se pode compreender que nem sempre valores muito elevados de eficácia, correspondem a resultados globais positivos. A manipulação dos resultados esperados, por excesso ou por defeito, pode condicionar os valores obtidos para a eficácia.

2.1.2 Produtividade

Por seu lado, a Produtividade, mede a relação entre os resultados obtidos e a quantidade de recursos consumidos. Pode ser encarada como a capacidade para criar bens e serviços.

Trata-se da relação entre o *output* de um processo e um ou vários *inputs* do mesmo processo, por exemplo, a relação entre a quantidade de bens ou serviços produzidos e um ou mais *inputs* que possibilitam a produção (Coelli *et al*, 2005).

Mas a produtividade pode ser encarada de uma forma mais analítica, uma vez que pode ser considerada também, a taxa de variação, no tempo, da relação entre *inputs* e *outputs*.

Segundo Lovell (Azambuja, 2002) a produtividade é função de: diferentes tecnologias de produção, eficiência no processo de produção e o ambiente em que ocorre a produção.

As vantagens de medir a produtividade para um decisor ou gestor são perceptíveis, uma vez que a produtividade pode servir como:

1. Ferramenta de Gestão:

Tendo uma função de verificação de efeitos decorrentes de modificações organizacionais ou novos processos de produção;

2. Instrumento de Motivação:

Sendo aqui percebido como elemento orientador de estímulos;

3. Ferramenta de Previsão:

Identificando necessidades futuras do processo produtivo;

4. Ferramenta de *Benchmark*:

Compara a performance de indivíduos ou departamentos de uma mesma empresa, departamentos de uma mesma empresa, diferentes empresas de uma indústria, ou mesmo diferentes países;

5. Influenciar os preços dos produtos:

Face ao aumento dos preços dos *inputs* as empresas podem restringir aumentos dos preços dos produtos, através de um aumento de produção, aumentando a produtividade;

A produtividade é um indicador que se quer crescente, ou seja, a diferença entre indicadores de produtividade em períodos homólogos, quer-se positiva. Se num período $t+1$ a produtividade medida for X e no período t esse mesmo indicador era igual a Y , o desejado é que $X > Y$, para que a diferença $X-Y$ seja > 0 .

Outras formas de aumentar a produtividade podem ser: mudanças nas políticas de gestão da empresa, novas políticas produtivas/industriais, *benchmarking*, entre outros.

Os ganhos que podem advir da medição da produtividade são, como refere Ana Azambuja na sua tese de doutoramento (Azambuja, 2002):

1. Explorar economias de escala e /ou tamanho de redes;
2. Explorar as economias de densidade de tráfego;
3. Explorar outras economias associadas á utilização de capital ou de *inputs* agregados;
4. Eliminar as combinações de *inputs* ineficientes do ponto de vista de alocação;
5. Eliminar ineficiências técnicas;
6. Aumentar a qualidade de um produto/*output* ou *input*;
7. Reduzir as interferências de factores externos, tais como poluição, desperdícios, entre outros;
8. Diferenças locais de operação;
9. Identificar mudanças em habilidades produtivas.

Quanto ao processo analítico de medição da produtividade existem duas formas dispares de medir a produtividade:

- a) **Medidas de produtividade parcial (FPP - Factor de Produção Parcial):** em que o aumento de um *output* é comparado com o aumento de alguns mas não todos os *inputs*;
- b) **Medidas de produtividade total (FPT - Factor de produção total):** aqui o aumento medido do produto total, é relativo a mudanças em todos os *inputs* (Benjamin & Obeng, 1990), (Coelli *et al*, 1997).

Entre as desvantagens do FPP encontramos o facto de, para retratar um aumento ou diminuição da produtividade, são considerados por vezes apenas um conjunto de *inputs* e um conjunto de *outputs*. O FPT considera todos os *inputs* considerados analisados no mesmo período. Permite assim avaliar sensibilidade da produtividade, quando é alterado um único *input*, mantendo-se constantes as quantidades custos dos outros *inputs*

O cálculo do FPT, por sua vez, pode ser feito seguindo uma de duas abordagens:

- a) Abordagem não paramétrica: Análise por Números-Índices¹
- Índice de quantidade directa;
 - Receitas deflacionadas por gestão de custos deflacionados;
 - Índice de quantidade de *Input*/índice de quantidade de produto;
 - Relação de preço produto *input* de *Jorgenson-Grillides*;
 - Mudanças em coeficientes técnicos;
- b) Abordagem paramétrica: especifica-se uma relação funcional entre *outputs* e *inputs* analisados, assim como a significância estatística deste conjunto de dados
- Função de Produção
 - Função de Custo

2.1.3 Eficiência

A eficiência, mais concretamente a eficiência relativa, é a medida que pode ser calculada pela DEA, pelo que no âmbito deste estudo, será o conceito mais importante de captar. Podemos compreender que eficiência, como medida de desempenho, tem um papel importante na comparação de diferentes formas de gerir processos produtivos, que usam os mesmos *inputs* e visam os mesmos *outputs*

¹ O cálculo destes índices não está no âmbito deste estudo, pelo que não serão aqui calculados.

A definição de eficiência é no entanto pouco consensual. Empiricamente podemos entender eficiência como a relação entre os recursos que deveriam ser consumidos e os recursos realmente utilizados, ou de outra forma, a capacidade de gerar bens e serviços utilizando os recursos de forma adequada.

O conceito está relacionado com o método, processo e operação, apontando para a forma correcta de fazer as coisas, tendo como objectivo final, o menor “custo” por unidade produzida.

A eficiência mede a relação entre determinado *input* de um processo e o *output* do mesmo processo, tendo como foco, a quantidade de recursos que foram utilizados no processo produtivo. Assim, um processo mais eficiente é aquele que produz pelo menos a mesma quantidade dos demais, utilizando uma quantidade mais reduzida de recursos.

A eficiência pode ser vista como o quociente entre um ou mais *inputs* utilizados num processo pela quantidade de bens e serviços produzidos pelo mesmo processo.

A quantidade de autores que teorizaram sobre a eficiência, deve equiparar-se à quantidade de definições que podemos encontrar sobre este conceito.

- **Farrell, 1957** (Farrell, 1957):

Define a eficiência de uma empresa como sendo o grau de sucesso, no esforço de gerar determinada quantidade de *outputs*, a partir de um dado conjunto de *inputs*;
Podemos constatar que a eficiência era então percebida como eficiência produtiva, distinguida em duas partes:

1. **Uma componente técnica - Eficiência Técnica:** interpretada como sendo a capacidade de evitar desperdícios, produzindo o máximo de *outputs* que a quantidade de *inputs* utilizada permite;
2. **Uma componente alocativa - Eficiência Económica:** que vai depender dos preços. Refere-se à capacidade de combinar *inputs* e *outputs* em proporções óptimas, de acordo com os preços vigentes;

- **Lovell, 1993** (Lovell, 1993):

A eficiência de uma unidade de produção resulta da comparação entre os valores, observado e óptimo, nas suas relações *inputs/outputs* da mesma variável.

A eficiência seria então dividida em duas partes:

- Eficiência técnica: em que a quantidade de *output* obtida, seria comparada com o máximo potencial alcançável desse mesmo *output*, para uma determinada quantidade fixa de *input*, isto na óptica dos resultados, na óptica

dos recursos, seria a quantidade mínima de *input* necessária para produzir determinado produto;

- Eficiência Económica: é a medida que compara custos, receitas e lucros observados, relativamente a padrões otimizados;

Outros autores adoptaram a separação da eficiência nas duas componentes, técnica e a alocativa, e desenvolveram outras interpretações das mesmas:

- **Berechman, em 1993** (Berechman, 1993):

A empresa é alocativamente eficiente, se na selecção entre diferentes combinações de *inputs*, além de ser tecnicamente eficiente, também minimiza os custos totais. A eficiência técnica, por sua vez, seria obtida quando, dado o nível de procura do mercado, a empresa utiliza o mínimo de recursos suficiente e necessário para produzir o nível de produto estimado.

- **Pearson, em 1993** (Pearson, 1993):

Assume, numa abordagem mais técnica, que a eficiência técnica mede a proximidade entre a quantidade de *output* produzida por uma empresa e a quantidade máxima de *output* que aquela empresa poderia produzir, dado o nível de *inputs* utilizados. Por outro lado, a eficiência alocativa faz a análise da forma como a empresa utiliza o seu mix de *inputs* que levam a uma minimização dos custos, de forma a produzir o nível observado de *outputs*, dados os preços relativos praticados.

A divisão de eficiência em duas componentes, uma técnica, que mede a capacidade de encontrar o ratio óptimo entre quantidades de *outputs* produzidos e quantidades de *inputs* utilizados e uma componente eficiência financeira, encontrando o ponto que maximiza a relação preço dos *inputs* vs lucro obtido da produção, que tem de ser igualmente considerada.

Da mesma forma que existem muitas definições para eficiência, também a forma de calcular a eficiência é abrangente, nomeadamente através de técnicas paramétricas (Funções de produção e Funções de Custo) e não paramétricas, como é o caso da DEA.

As primeiras técnicas que foram utilizadas na medição de eficiência são as técnicas de regressão, através da análise estatística de dados empíricos (usualmente a técnica dos mínimos quadrados). A partir do momento em que surgem as primeiras definições de eficiência, apontando para os modelos de fronteiras de eficiência, passou-se a usar técnicas de programação matemática.

As diferenças entre estas duas técnicas começam logo no facto de a abordagem que recorre às técnicas de regressão, chamada abordagem econométrica, ser estocástica e

tenta assim, distinguir os efeitos de ruído dos efeitos de ineficiência. A abordagem de programação é de natureza não estatística, agregando ambos os efeitos (ruído e ineficiência), sendo assim também denominada de combinação de ineficiência.

O facto da técnica de regressão ser uma abordagem paramétrica, que permite confundir os efeitos de má especificação de forma funcional (tanto de aspectos tecnológicos, como de ineficiência) com ineficiência que advém de má gestão, distingue-a da abordagem de programação, uma vez que esta, é não paramétrica, e por isso, menos propensa a problemas de confusão de efeitos. A abordagem de programação matemática, orientada para a construção de fronteiras de produção e obtenção de medidas de eficiência relativa, relativas á fronteira, é abordagem na análise por DEA.

As técnicas paramétricas² (Azambuja, 2002) para medir a eficiência, são definidas através de duas funções, uma função de produção e uma função de custo:

- **Função de produção:** Descrição da relação técnica existente entre *inputs* e *outputs* num processo produtivo, durante um determinado período de tempo, onde a função de produção define o máximo *output* resultante de um determinado conjunto de *inputs*. Os modelos mais conhecidos de função de produção podem ser divididos em determinísticos, por exemplo, Função de produção de *Cobb-Douglas* ou Função de produção Translog, ou estocásticos.
- **Função de custo:** Perspectiva e define o custo mínimo de produção do vector produto, para determinada função de produção, tendo como base, algumas relações de oferta, para os *inputs*. São exemplos de funções de custo, os seguintes:
 1. Funções de custo de uma equação;
 2. Funções de custo Translog;
 3. Modelos de fronteira de custo estocástica.

A Figura 2 que se segue visa dotar o leitor de uma visão holística dos processos de avaliação destas medidas de desempenho.

As técnicas não paramétricas para medir a eficiência são as mais importantes para o nosso estudo, uma vez que é neste grupo de técnicas de medição de eficiência que encontramos a DEA, uma técnica não paramétrica, utilizada para definir a fronteira de produção e medir a eficiência relativa de uma unidade observada, em relação a esta fronteira. No próximo

² Para aprofundar a análise e descrição destas técnicas e respectivos modelos, recomenda-se a leitura de Azambuja (Azambuja, 2002).

Capítulo serão abordados alguns aspectos teóricos e práticos que ajudarão a compreender melhor a ferramenta DEA.

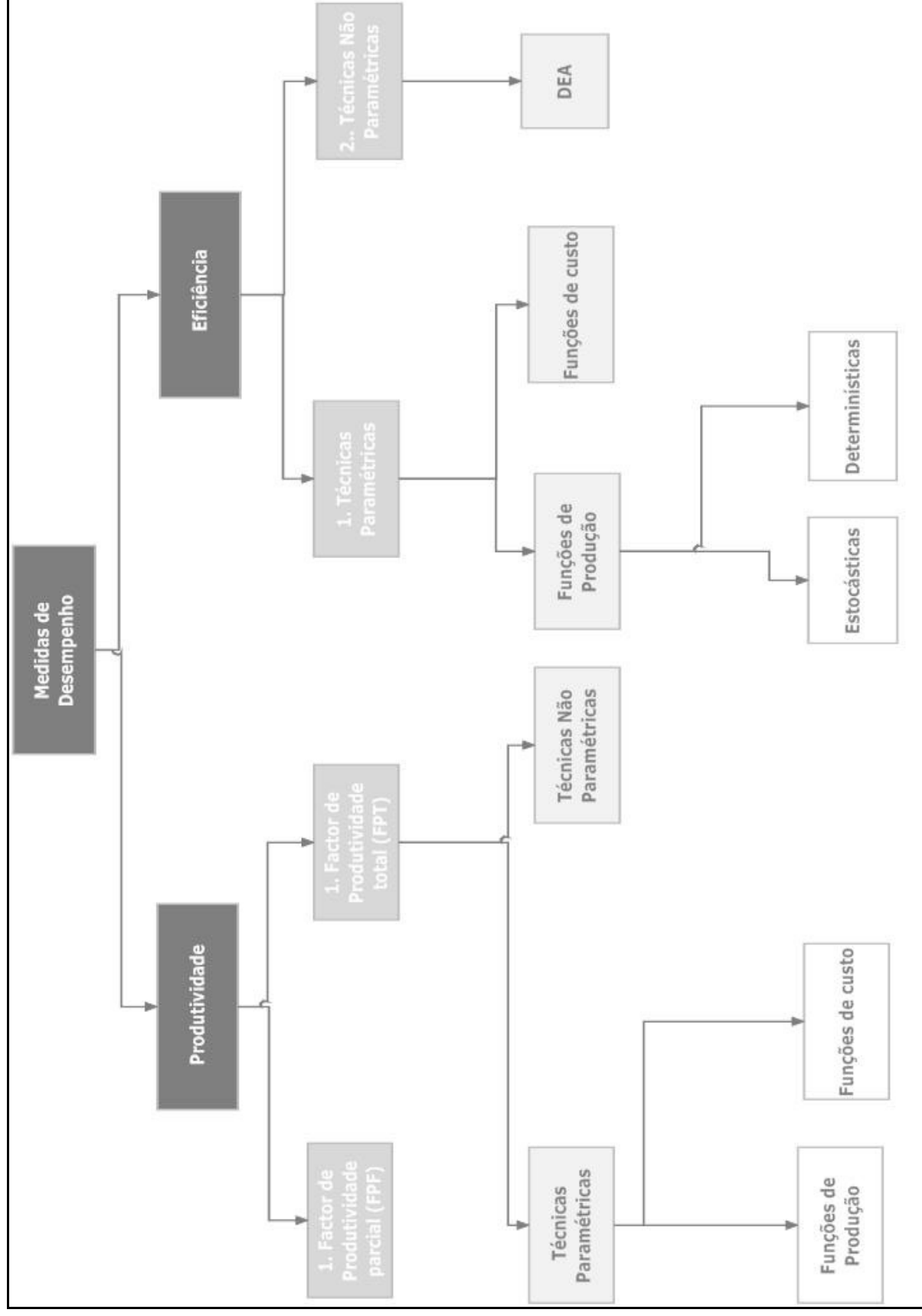


Figura 2 - Diagrama de análise das medidas de desempenho, Produtividade e Eficiência

CAPÍTULO 3

A DEA (*DATA ENVELOPMENT ANALYSIS*)

Procura-se neste terceiro capítulo da dissertação, apresentar a ferramenta DEA, desde as suas origens históricas, passando pelos trabalhos desenvolvidos nos últimos trinta anos, desde que foi criada, até uma exposição mais alargada das formulações matemáticas dos seus modelos. Termina-se este capítulo com dois subcapítulos, onde são explorados dois temas relevantes, a definição taxonómica de problemas onde é aplicada a análise de eficiência relativa por DEA e por fim as ferramentas informáticas existentes para se poder resolver estes mesmos problemas.

3.1. As origens da DEA: Enquadramento histórico

Nos parágrafos que se seguem, procura-se resumidamente, mostrar qual o caminho que levou á criação da técnica DEA, quem foram os autores originais, quais as perguntas que precisavam de ser respondidas e que levaram a este avanço científico no campo da análise de eficiência.

Para se perceber melhor o trabalho desenvolvido por *Charnes, Cooper e Rhodes* (CCR), é necessário compreender o contexto em que os seus estudos foram desenvolvidos, nomeadamente em dois campos distintos, a Investigação Operacional (OR³), em particular no campo da Programação linear, e nas Ciências de Gestão (MS)⁴, em concreto no campo do estudo da eficiência, ou melhor, da análise de eficiência.

A cronologia, abreviada, das origens da DEA, pode ser vista em baixo.

³ Do inglês *Operations Research*.

⁴ Do inglês *Management Sciences*.

Nos anos cinquenta o trabalho de Farrell é o que mais se destaca, no campo do estudo da eficiência (Figura 3).

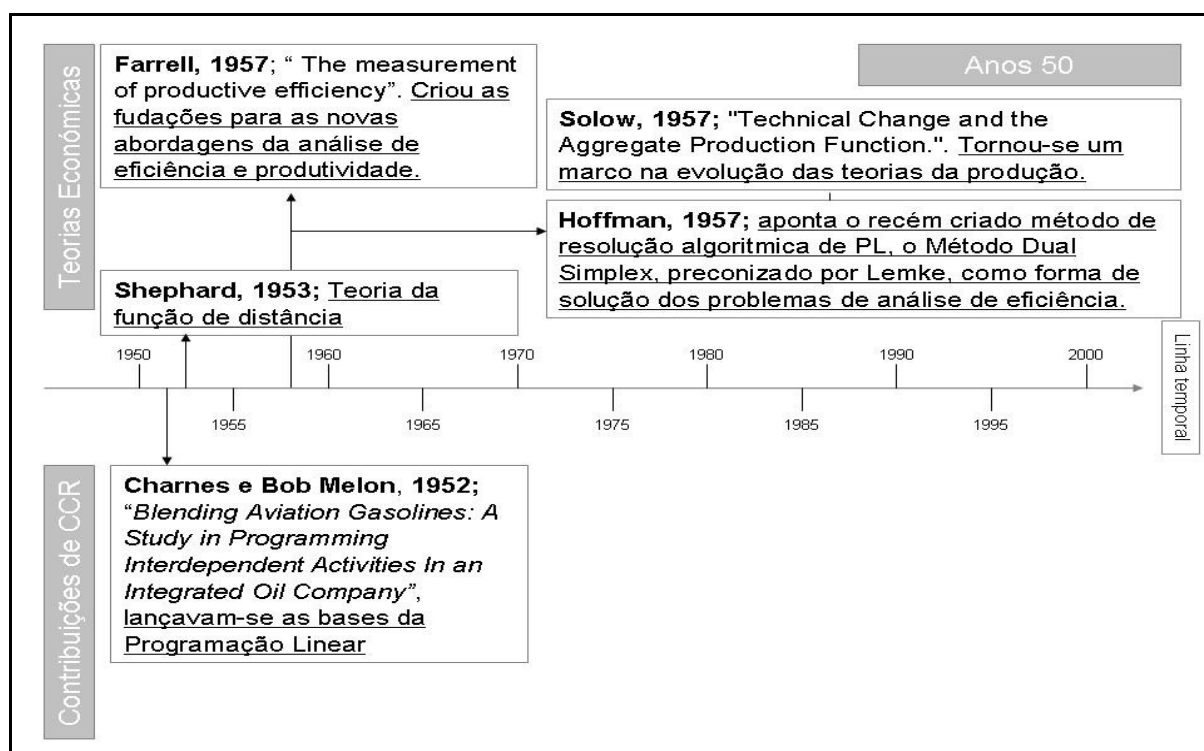


Figura 3 - Cronologia das origens da DEA- anos 50

Em 1952, num artigo publicado em Abril, Charnes e Bob Melon, no jornal *Econometria* (Charnes *et al*, 1952) lançavam-se as bases da Programação Linear (Reisman, 2005).

O trabalho de Solow de 1957 (Solow, 1957) foi a nível macro económico um marco na evolução das teorias da produção.

Farrell, motivado pela necessidade de obter melhores métodos e modelos para avaliação da produtividade, escreveu um artigo, preconizando um modelo onde arguiu que, enquanto tentativas para resolver o problema da produtividade usualmente produzem medidas cuidadas, estes mesmos resultados eram restritivos, uma vez que falhavam na capacidade de combinar medições de *inputs* e/ ou *outputs* múltiplos, numa medida global de eficiência. Respondendo a estas incapacidades, Farrell (Farrell, 1957) propôs uma abordagem de análise de actividades, que poderia lidar de uma forma mais conveniente com o problema em causa. No seu trabalho ele estendeu o conceito inicial de produtividade, até um conceito mais lato de eficiência (Cooper *et al*, 2006).

A nova perspectiva que Farrell proporcionava, criara uma decomposição em eficiência técnica, *price (or allocative) efficiency*⁵ e eficiência global a um nível microeconómico numa empresa (ou mesmo unidade de produção)⁶

⁵ Definida como sendo: "o grau com que os preços dos bens reflectem a informação do mercado (conceito global onde se transaccionam os bens)", in *Investor Words* (<http://www.investorwords.com/>)

⁶ Estas definições técnicas de eficiência foram abordadas no ponto 2.1 Eficácia, eficiência e produtividade, deste relatório.

A um nível micro económico, foi *Farrell* quem se destacou, criando aquelas que se tornariam as fundações para as novas abordagens da análise de eficiência e produtividade, apontando para duas ideias fundamentais:

- a) Como definir eficiência e produtividade;
- b) Como calcular a tecnologia de *benchmark* (análise de comparação entre dois elementos ou teorias, apresentando resultados em termos de posições relativas) e a definição de medidas de eficiência.

Na Figura 4, correspondente ao período 1960-1969, podemos destacar o estudo levado a cabo na Universidade de *Berkeley*, sob a direcção de *Boles*.

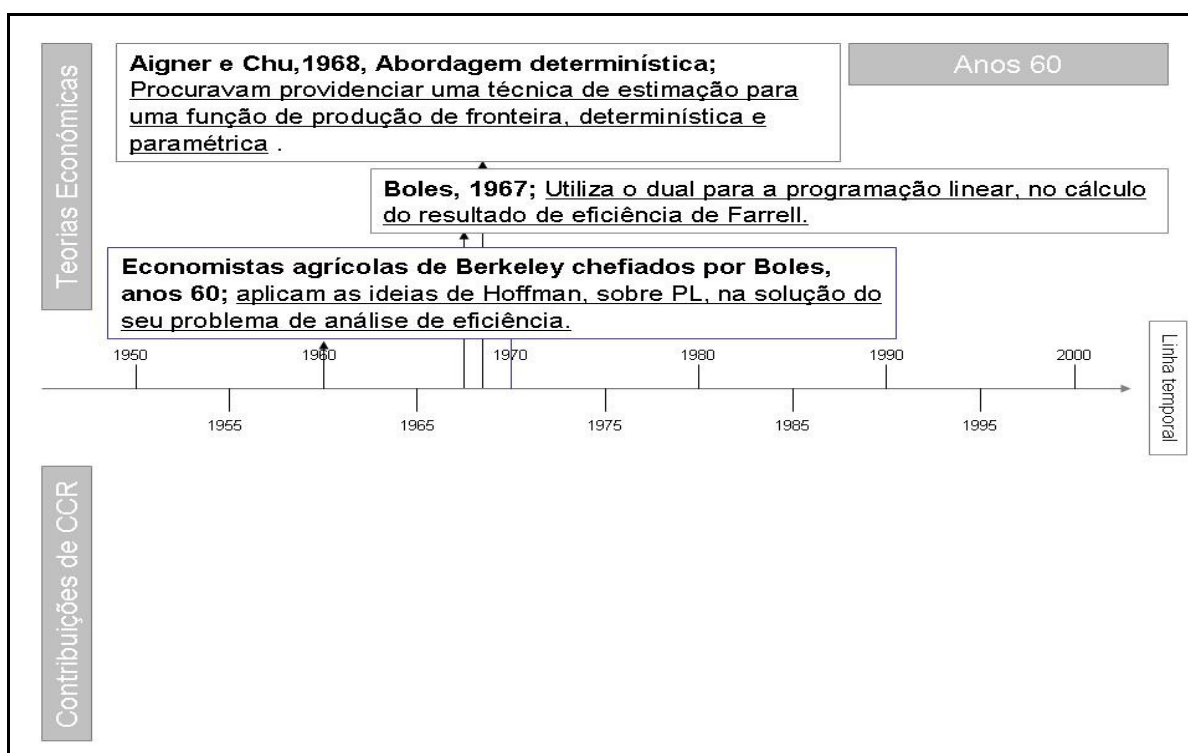


Figura 4 - Cronologia das origens da DEA- anos 60

Nos anos 60, um grupo de economistas agrícolas de *Berkeley*, chefiado por *Boles*, foram os primeiros a seguir as ideias de *Hoffman*, depois de *Farrell*. Com base nos modelos de PL, criados por *Boles*, aplicaram-nos no seu volume apresentado num simpósio da WFEA⁷.

O modelo de *Boles* foi o mesmo que tinha sido proposto por *Hoffman* e usado por *Farrell*, centrando-se em retornos constantes de escala.

O trabalho de 1978 “*Measuring the efficiency of decision making units*”⁸ por *Abraham Charnes*, *William W. Cooper* e *Edward Rhodes* (CCR), cobriria o mesmo terreno que *Farrell* tinha estudado anos antes, no que respeita aos conceitos de medição de eficiência.

⁷ *Western Farm Economic Association*

⁸ Traduzido para português, “Medindo a eficiência de unidades de decisão”

Tanto as medições de eficiência propostas, como a base de estudo, para uma tecnologia de produção, baseada em programação linear, foram consideradas idênticas.

Este estudo conduz-nos até á década de 70, onde é publicado o trabalho de CCR e apresentada a nova metodologia DEA, que já poderia responder aos casos de análise de eficiência, em unidades de decisão com *inputs/outputs* múltiplos. Esta foi a década mais produtiva, em termos de desenvolvimentos teóricos, para a resolução dos problemas de análise de eficiência e produtividade, com o surgimento de inúmeros estudos, dentro das diferentes “escolas” que até então se tinham formado neste campo (Figura 5).

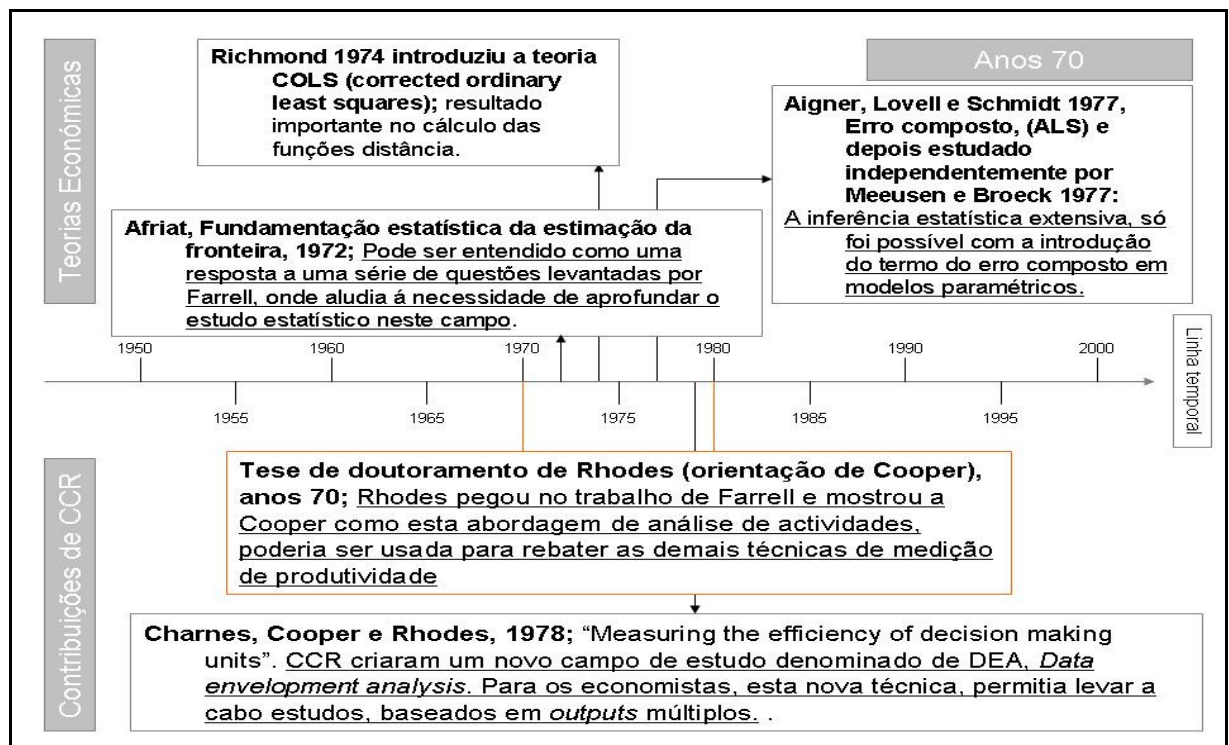


Figura 5 - Cronologia das origens da DEA- anos 70

O trabalho de CCR no início dos anos 70 surgiu em resposta a um esforço patente na tese de E. Rhodes. Sob a alçada de William W. Cooper, esta tese pretendia avaliar programas educacionais para alunos desfavorecidos.

Numa tentativa hercúlea do estado Norte-americano, estava a ser então levado a cabo um estudo exaustivo, baseado nos princípios de desenho estatístico de experiências, aplicado a um conjunto de escolas com características idênticas.

Enquanto tentava solucionar este problema, Rhodes pegou no trabalho de Farrell: “*The Measurement of productive Efficiency*” e mostrou a Cooper, como esta abordagem de análise de actividades, poderia ser usada para rebater as demais técnicas de medição de produtividade. Estas ideias foram a base para os trabalhos seguintes que ambos desenvolveram (Cooper *et al*, 2006).

CCR criaram um novo campo de estudo denominado de DEA, *Data Envelopment Analysis*.

Actualmente a metodologia DEA, abarca um conjunto alargado (mas relacionados entre si) de modelos e abordagens para análise de eficiência, que serão desenvolvidos nos capítulos que se seguem.

3.2 Estudos, aplicações e áreas de estudo da ferramenta DEA

Na continuação do subcapítulo 3.1 sobre as origens da técnica DEA, torna-se pertinente perceber qual a evolução que esta ferramenta teve ao longo do século XX. Assim, de forma a compreender esta evolução, tenta-se resumir neste subcapítulo 3.2, de uma forma quantitativa, os trabalhos desenvolvidos e que ajudaram a implementar esta ferramenta e que a tornaram numa das mais importantes no campo da análise de eficiência relativa.

É o objectivo deste ponto, fornecer aos leitores uma evolução cronológica, baseada em dados quantitativos, de forma a perceber como a técnica DEA foi ganhando o seu espaço e conquistando o respeito e a atenção a nível não só local, nos EUA, como a nível mundial, uma vez que a disseminação da técnica DEA mundialmente, foi crescente, desde os trabalhos de CCR até à actualidade.

Foram identificados vários estudos que procuravam compilar os dados relativos aos trabalhos sobre análise de fronteiras eficientes seguindo a metodologia DEA, que iam sendo publicados. Aqui temos de referir os trabalhos de Tavares (Tavares, 2002) e os esforços de compilação do professor Dr. A. *Emrouznejad* no site www.deazone.com/bibliography, que mais tarde, em 2007, em conjunto com Tavares e *Parker*, publicariam uma versão revista do trabalho de Tavares (*Emrouznejad et al*, 2007) Também os trabalhos de *Emrouznejad* (*Emrouznejad et al*, 2007) e *Emmanuel* (1997) *Seiford* (1994) e *Gattoufi* (*Gattoufi & Reisman*, 2002) contribuíram para que se conseguisse ter uma visão mais holística do que até então tinha sido desenvolvido no campo da literatura sobre DEA.

Desde já temos de fazer uma ressalva, a compilação bibliográfica pode ser apenas entendida como uma tentativa de ter uma visão global do que até actualmente foi produzido literariamente, não podemos entender os dados obtidos pelos autores que serão mais á frente mencionados como sendo os dados referentes a 100% das obras publicadas, porque logo aqui entraríamos numa questão complicada de qual, ou quais, os tipos de trabalhos que são considerados válidos, nos diferentes tipos de levantamentos levados a cabo. Muitos dos autores nos quais se baseia o estudo agora apresentado, não estão de acordo nem quanto ao tipo de trabalhos a considerar, nem quanto às datas dos seus períodos de estudo, o que levanta problemas de incompatibilidades. Se calhar agora consegue-se perceber melhor o título do subcapítulo, esta não é uma bibliografia extensiva, é apenas a apresentação resumida, baseada em dados compilados por vários autores, que procura somente demonstrar a evolução da técnica DEA ao longo dos últimos 30 anos, dando uma

perspectiva quantitativa, que poderá ser um guia para compreender melhor a pertinência de certos estudos, em que a técnica DEA foi utilizada.

Tenta-se ao máximo neste subcapítulo, alienar as discussões que surgiram entre os diferentes autores, que realmente se debruçaram no estudo exaustivo das questões bibliográficas e acima de tudo procura-se enaltecer o seu trabalho, fastidioso e minucioso, agradecendo a disponibilização dos resultados dos seus trabalhos.

Feita esta introdução, gostaríamos só de salientar mais um pormenor. O trabalho de levantamento bibliográfico, foi de inegável valor, mas uma vez que não se procura apresentar uma lista extensiva de nomes de livros, autores, títulos, etc, mas sim dados sobre o que foi escrito. Foi dado um tratamento preferencial aos trabalhos que apresentam já uma aglomeração de dados que podem ser utilizados na criação de elementos visuais, como gráficos, tabelas e esquemas, que fornecem uma perspectiva global, baseada em comparações relativas.

Nos seus levantamentos bibliográficos os autores recorreram não só a bases de dados tradicionais, como outras mais recentes, incluindo *Science Direct* (www.sciencedirect.com), EBSCO (www.ebsco.com), *Google Scholar* (<https://scholar.google.com>), JSTOR (<http://uk.jstor.org>) e *Pro-Quest* (<https://proquest.umi.com>) (Emrouznejad *et al*, 2007).

Este levantamento bibliográfico aqui apresentado, assenta em dois outros estudos, efectuados pela equipa do Professor Emrouznejad e pelo Professor Reisman. Na sua procura de literatura extensiva (Emrouznejad *et al*, 2007) identificaram mais de 400 artigos de investigação publicados em jornais (publicações periódicas que compilam artigos sobre temas de um mesmo ramo) e/ou capítulos de livros. Livros e trabalhos publicados, como/em apresentações de conferências foram incluídas, mas artigos publicados em eventos variados (que não conferências) ou trabalhos/investigações apresentados como documentos internos, não foram considerados. De forma a mostrar o crescente desenvolvimento do campo, se fossem incluídos dissertações por publicar, manuscritos de trabalhos/investigações e artigos apresentados em conferências/eventos, o número de obras referidas nesta bibliografia, excederia as 7000.

Os dados reunidos no trabalho Emrouznejad e Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007), são baseados em dados reunidos apenas de artigos de jornais, e artigos/publicados em livros e conferências. Estes resultados não incluem, todas as publicações que foram feitas no “mundo real”. No que diz respeito a este ponto, Tavares deixa bem explícito que foram apenas revistos os artigos de jornal académicos ou profissionais. Artigos de trabalhos/investigação, apresentações de conferências (não publicadas) e dissertações de doutoramento foram excluídos, uma vez que foi assumido que investigação de alta qualidade seria, eventualmente, incluída nas obras que serviram como base de dados para esta compilação. Também muitos jornais de língua não inglesa, foram excluídos.

Como escreveu *Arnold Reisman* (Reisman, 2005) “a bibliografia de Tavares (2002) cobre apenas o período de 1978-2001, enquanto que o nosso trabalho começa a sua pesquisa em 1951 e acaba em Agosto de 2001. Devido a uma cobertura temporal, mais reduzida, Tavares apresenta apenas 1278 artigos publicados em jornais de referência, cerca de 71%, aproximadamente, dos que são referidos nesta edição. Apesar de não referir o número de jornais que servem como base ao seu trabalho, o nosso apresenta referências a 490 jornais”.

As incoerências estatísticas entre os dois trabalhos são fruto de tempos de análise e tipos de jornais e artigos referenciados, diferentes. Pelo que é normal que existam valores que não se ajustam nos dois levantamentos bibliográficos.

Como podemos ver na Figura 6, desde o trabalho original de CCR em 1978, tem sido crescente o número de trabalhos publicados, sob o tema DEA.

Uma análise mais profunda demonstra que existem períodos de interesse. Entre 1978-1988, as obras publicadas anualmente não chegavam às 100. Isto pode ser demonstrativo da necessidade que uma metodologia, como a DEA, tem de ser tornar de uso corrente. A validação da metodologia DEA, pelo seu uso em casos de estudo, pode ter levado cerca de uma década, mas partir de 1989 observa-se um aumento nos crescimentos marginais anuais, sendo que até 1994, existem alguma uniformidade dos crescimentos anuais. No ano de 1995, observa-se um dos maiores crescimentos marginais, passando de aproximadamente de 140 trabalhos publicado anualmente, para cerca de 220 trabalhos ano, sendo este um crescimento de quase 60%, relativamente ao ano anterior. Durante mais uma década observa-se um crescimento regular, até que se observa um novo crescimento assinalável no ano de 2004. Estes crescimentos, apoiam-se nas novas teorias e modelos que iam sendo criados e que ajudavam a sustentar e cimentar a técnica DEA. As melhorias nos sistemas informáticos e particularmente a liberalização dos computadores pessoais e a “facilidade”⁹ de criação de novos *softwares*, permitiu uma disseminação da técnica e a sua utilização na resolução de cada vez mais casos de estudo, em áreas mais diversificadas e com resultados mais fidedignos (Emrouznejad *et al*, 2007). A partir de 2004, observam-se os primeiros decréscimos na quantidade de estudos publicados, o que pode ser reflexo de uma não uniformidade de capacidades nos diferentes países onde a técnica é utilizada, nomeadamente a nível informático, principalmente nos países europeus, da Europa Central e Europa de Leste, onde a utilização dos sistemas de informação ainda não é tão global como desejado (Emrouznejad *et al*, 2007). A redução do número de trabalhos publicados, pode também ser reflexo de que a técnica DEA atingiu a maturidade e novas técnicas podem apresentar-se como sendo mais assertivas e podem rivalizar pelo lugar que a DEA, ocupa no ramo das OR/MS.

⁹ Para perceber melhor como se cria um *software* para resolver modelos DEA, ver o subcapítulo 3.5.1 “A evolução computacional e o surgir de ferramentas digitais para resolução e problemas em DEA”

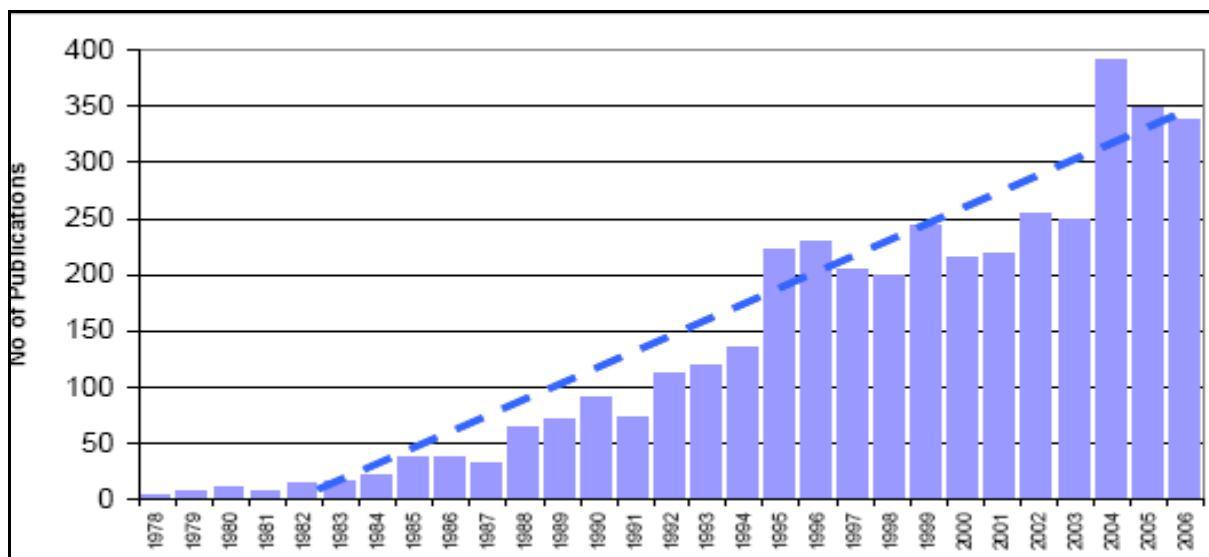


Figura 6 - Número de publicações DEA por ano

Fonte: Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007).

Na Figura 7, podemos ver um *ranking* dos vinte jornais onde foram publicados o maior número de artigos de DEA. Como era de esperar, os jornais que dizem respeito a OR e MS, são os que apresentam as maiores percentagens de artigos publicados.

Journal	No. of papers	% of papers
EJOR: European Journal of Operational Research	373	23.0
JPA: Journal of Productivity Analysis	242	14.9
JORS: Journal of the Operational Research Society	164	10.1
Applied Economics	86	5.3
Annals of Operations Research	83	5.1
Management Science	83	5.1
OMEGA	73	4.5
Applied Mathematics and Computation	63	3.9
Socio-Economic Planning Sciences	63	3.9
International Journal of Production Economics	58	3.6
Computer and Operations Research	48	3.0
International Journal of Systems Science	41	2.5
Journal of Econometrics	37	2.3
Applied Economics Letters	35	2.2
Journal of Banking and Finance	35	2.2
Health Care Management Science	29	1.8
Journal of Medical Systems	29	1.8
Journal of Operations Research Society of Japan	28	1.7
System Engineering Theory and Practice	26	1.6
Review of Economics and Statistics	25	1.5
Total	1621	100.00

Figura 7 - Ranking dos 20 jornais com maior número de artigos publicados

Fonte: Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007).

É interessante notar o seguinte, os trabalhos que foram publicados sobre casos de estudo ou teorias, dentro do campo da DEA, não seguem uma regra quanto ao número de pessoas que os realizaram.

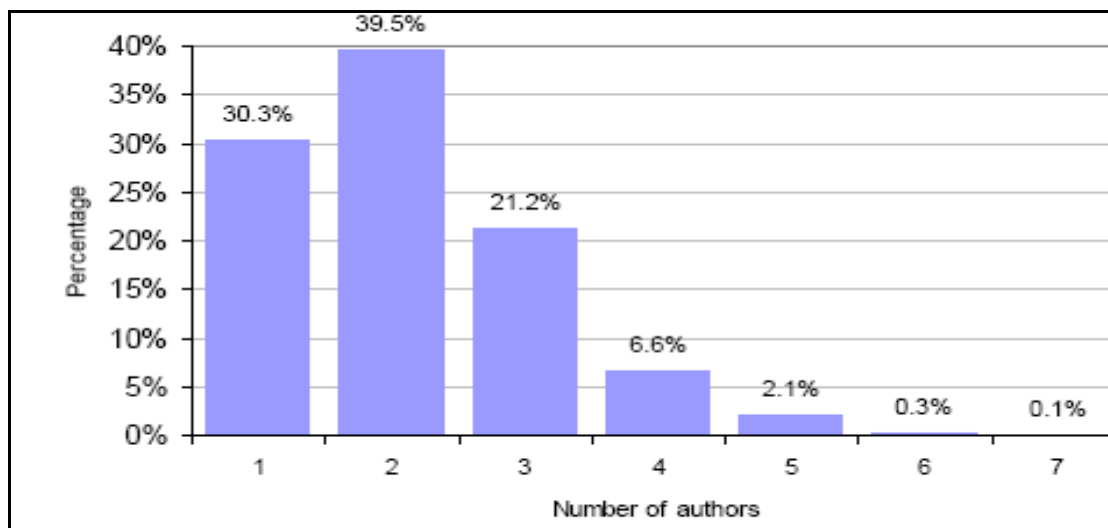


Figura 8 - Número de autores por publicação

Fonte: Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007).

Só 30,3% dos trabalhos foram escritos por um único autor, mas se formos a ver só frequências relativas, sem fazer estudos acumulados, a percentagem é superior a qualquer estudo que tenha sido realizado, por três ou mais autores, perdendo apenas para os estudos realizados por dois autores, o que demonstra que muita da bibliografia criada sobre DEA, pode ser reflexo do esforço de um autor no sentido de a aplicar ou estudar, numa área do seu interesse. Em termos globais, os estudos que são feitos 2 ou mais autores, são claramente a maioria, que pode ser consequência directa da multidisciplinaridade que vem desde os tempos de CCR em 1978, quando se juntaram matemáticos e economistas, para desenvolver uma nova ferramenta. O mesmo continua a acontecer actualmente, onde se combinam diferentes áreas de estudo sob um mesmo problema, a análise de eficiência.

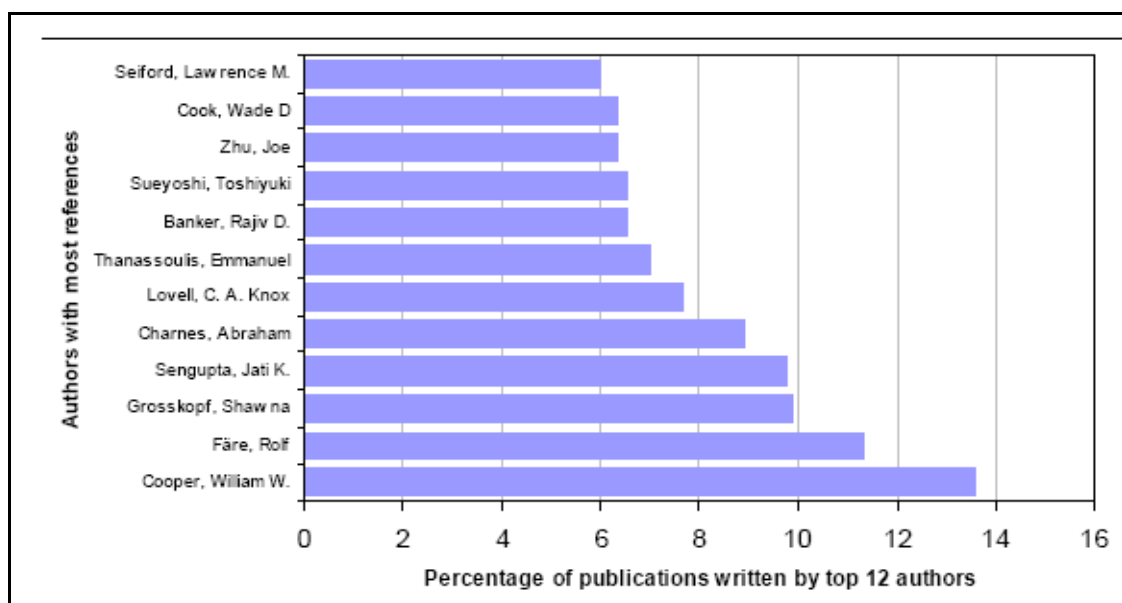


Figura 9 - Percentagem de publicações pelos 12 autores mais importantes

Nota: este gráfico referencia apenas as publicações de trabalhos sob o tema DEA, dos autores referidos.

Fonte: Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007).

Na sua obra (Emrouznejad *et al*, 2007) referem que estão identificados cerca de 2500 autores, sendo este um número bastante considerável. Um pormenor interessante é que 22% das obras escritas sobre DEA foram escritas pelos top 12 autores, sendo que *Cooper*, um dos fundadores da DEA encabeça a lista, com 14% desses trabalhos. No total *Cooper* tem publicados 122 trabalhos, representando cerca de 3% do total de trabalhos identificados. Só Tavares refere que cerca de 1278 trabalhos foram identificados, dentro dos parâmetros por eles assumidos, para o estudo referido, sendo que *Reisman* aponta para 3235 obras. Esta discussão de publicações, serve-nos apenas para perceber que, nos trinta anos que medeiam os trabalhos originais de CCR e este relatório, encontramos uma produtiva “indústria” de estudos e investigações, o que dá á técnica DEA uma validade que justifica a sua continua implementação.

Quanto ao tamanho, em número de páginas, as publicações são maioritariamente publicadas no intervalo das 2 e 16 páginas, sendo assim considerados artigos, com publicação em jornais da especialidade. Apesar da inúmera bibliografia de “capa dura”, os artigos dominam as publicações.

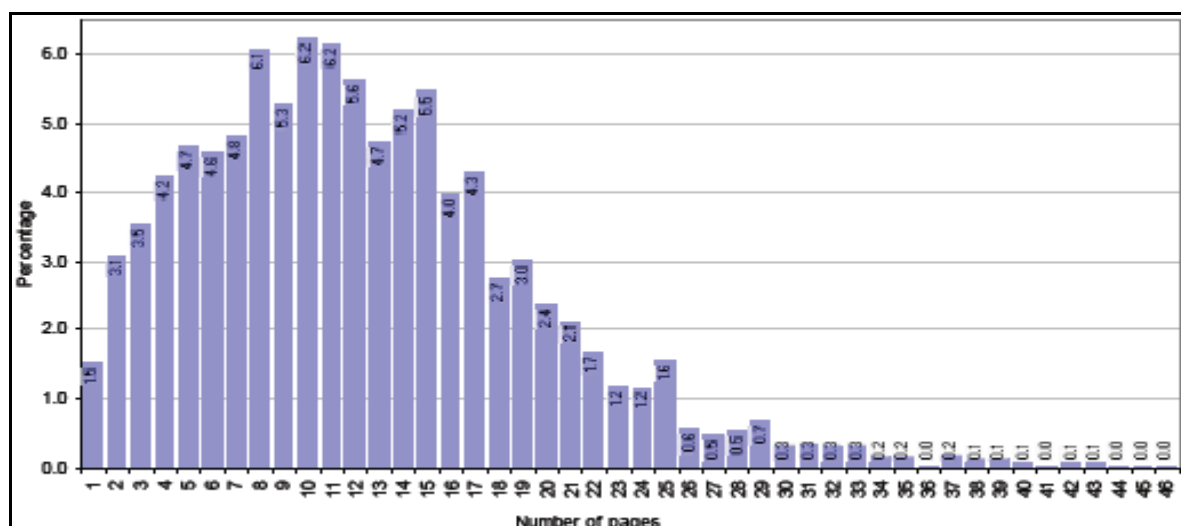


Figura 10 - Percentagem de publicações, em função do número de páginas

Fonte: Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007)

A estatística de *key words*, apresentada em (Emrouznejad *et al*, 2007) é importante não só para aferir qual o tipo de estudos que dominam o campo da DEA, mas também para perceber quais as áreas de estudo mais importantes. Neste sentido a tabela apresentada em baixo resume esta informação.

Tabela 1 - Lista das keywords mais utilizadas, por número de publicações

Palavras-Chave	Nº. Publicações	% Total Publicações (aproximadamente 3945)
DEA (ou por extenso)	1637	41%
Eficiência	558	14%
DMUs (ou por extenso)	392	10%
Programação Linear	341	9%
Teoria da Decisão	269	7%
Modelos Matemáticos	216	5%
Produtividade	215	5%
Investigação Operacional	215	5%
Economia	192	5%
Gestão	181	5%
Performance (gestão ou avaliação)	176	4%
Banco ou banca (sector económico)	135	3%
Não paramétrica	120	3%
Eficiência Técnica	120	3%
Programação Matemática	118	3%
Optimização	112	3%
Serviços de Saúde ou Hospital	103	3%
Análise Multivariada	89	2%
Produção	84	2%
Paramétrico	80	2%
<i>Benchmarking</i>	78	2%
Análise Regressão	76	2%
Controlo de Produção	73	2%
Métodos e /ou Modelos Estatísticos	72	2%
Alocação de Recursos Humanos	61	2%
Análise Estatística	58	1%
Educação	44	1%
Estatísticas Não Paramétricas	40	1%

Fonte: Adaptado de Emrouznejad, Parker, Tavares (Emrouznejad *et al*, 2007).

As áreas mais com maior número de aplicações são, os Sistemas Bancários, a Educação (incluindo a educação superior), os Serviços de Saúde e a eficiência hospitalar.

Para terminar, vamos só referir mais alguns dados presentes no estudo de *Gattoufi et al* (Gattoufi & Reisman, 2002) onde citando dois trabalhos, um de *Seiford e Thrall* (Seiford & Thrall, 1990) e em *Charnes e Cooper* (Charnes *et al*, 1985) , onde os primeiros se situam no 14º lugar no *ranking*, com 121 citações, e os segundos o 18º lugar com 102 citações¹⁰, no *Journal of Econometrics*. É assim atestada a importância da DEA, para investigadores, que em muito ultrapassam os campos da OR/MS, onde foi criada. *Gattoufi* refere ainda que, começando nas 20 melhores publicações médicas, a DEA atravessa áreas de interesse que vão desde os jornais dedicados a, agricultura, transportes, florestas, políticas públicas, engenharia industrial e eléctrica, administração hoteleira, produção, logística, ambiente e contabilidade.

¹⁰ Número de citações de trabalhos que apresentam a denominação DEA.

3.3. Caracterização da DEA

3.3.1 Definição

A definição de DEA é genérica e flexível. Pode ser definida como sendo uma abordagem, “orientada para dados”, relativamente recente, utilizada para avaliar a performance de uma série de entidades pares entre si, denominadas de DMUs (Unidades Decisoras)¹¹, que convertem *inputs* múltiplos em *outputs* múltiplos (Cook & Zhu, 2005).

No seu estudo original de 1978, *Charnes, Cooper e Rhodes* (CCR) (Charnes *et al*, 1978) definem DEA como sendo “ um modelo de programação matemática, aplicado a dados observados, que proporciona uma nova forma de obter estimativas empíricas sobre relações tais como, funções de produções e/ou superfícies de possibilidades de produção eficiente, que são “pedras de toque” da economia moderna”.

Outros autores apresentam as suas definições focalizando aspectos diferentes da DEA, por exemplo *Cooper* salienta que esta ferramenta tem a denominação de Análise Envoltória de Dados, pela forma como envolve observações de forma a identificar uma fronteira que é utilizada para avaliar observações, representando as performances de todas as entidades que estão para serem avaliadas (Cooper *et al*, 2006).

Thanassoulis relembra que no seu início a DEA surgiu com um método para calcular as eficiências comparativas de unidades organizacionais tais como unidades funcionais de Bancos, Escolas, Hospitais, entre outros. Em comum, estas unidades, apresentam o facto de partilharem os mesmos recursos e produzirem os mesmos resultados (Thanassoulis, 2001).

A DEA é também apresentada como sendo uma generalização do modelo de Farrell e uma forma equivalente do conceito de eficiência de *Pareto* (Sengupta, 1989).

Outros autores, (Sengupta, 1995), (Ray, 2004), (Coelli *et al*, 2005) destacam o facto da DEA ser um método não paramétrico¹² de medição de eficiência, que recorre á programação linear para criar uma superfície linear, sobre os dados, e relativamente á qual são calculadas as medidas de eficiência.

O facto da DEA permitir a medição de eficiências relativas entre unidades pares, quando são desconhecidos ou não estão disponíveis os preços/custos dos *inputs/outputs* (Sengupta, 1995), (Sengupta, 1989), e poder ser utilizada mesmo quando se desconhece as relações entre *inputs/outputs*, levou a que a sua aplicação se disseminasse nos últimos trinta anos.

Como já foi referido anteriormente, a DEA envolve não só o cálculo de medidas de eficiência relativa, como também a criação de fronteiras de produção, efectuando *assumpções*

¹¹ Tradução do original *decision making units*.

¹² Não paramétrica, no sentido de que são inteiramente baseados, os resultados de eficiência, nos dados observados.

mínimas, como é o caso da convexidade, sobre o conjunto de possibilidades de produção (Dogramaci *et al*, 1988).

Para *Ramanathan*, a DEA revelou-se uma técnica capaz ao mesmo tempo de estabelecer pontos de contacto com outros campos, como é o caso do *Multi Criteria Decision Making* (MCDM)¹³, apesar da DEA apresentar como objectivos o determinar da eficiência produtiva de um sistema ou DMUs, pela comparação de como as DMUs convertem os recursos em resultados e a MCDM procurar criar um *ranking* e escolhe de um conjunto de alternativas que tenham conflitos de critérios (Ramanathan, 2003).

Mas *Ramanathan* não é o único a apontar estas ligações, *Reisman* (Reisman, 2005) no prefácio da edição dedicada á técnica DEA da revista SEPS¹⁴, apresenta como sendo a DEA uma técnica que permite a medição de eficiência relativa de unidades organizacionais. *Reisman* aponta mesmo diversas ligações desta metodologia a outras teorias, entre essas ligações encontramos, programação não-linear (Nowak, 2005), simulação (Kittelsen, 1999), análise de decisão com múltiplos critérios (Ehrgott & Gandibeux, 2002), estatísticas multivariadas e não paramétricas (Wilson & Simar, 1995), redes neurais e algoritmos genéticos (Sexton *et al*, 2003), redes *fuzzy* (Peijun & Tanaka, 2001), (Yu, 2005), teoria de jogos (Reisman *et al*, 2001), programação inteira, programação por objectivos (Kettani, 2001), (Gattoufi *e tal*, 2003), (Sueyoshi, 2003) e programação linear multi-objectivos (Makui *et al*, 2008), (Belton & Vickers, 1993), (Clímaco *et al*, 2003), (Tanaka & Massagiro, 2003), (Cook & Zhu, 2005).

A DEA procura responder a uma pergunta:

“De um grupo de entidades que têm características comuns do ponto de vista produtivo, ou seja, entidades que recorrem aos mesmos conjuntos de *inputs* para produzirem os mesmos conjuntos de *outputs*, qual ou quais as que utilizam melhor os recursos que têm á sua disposição?”

O objectivo da técnica DEA é então, através de um processo de *benchmarking*, perceber quais os elementos produtores que estabelecem, com base em índices de eficiência, as melhores práticas para o grupo total de produtores.

Sendo que a definição de DMUs é também ela genérica e flexível. DMUs ou Entidades são, todos os elementos produtivos, colectivos ou singulares, que transformam *inputs* em *outputs*, e.g., um aluno pode ser uma DMU, neste caso singular, assim como uma classe pode ser uma DMU, mas colectiva desta feita, ou a um nível macro, um departamento numa faculdade, ou mesmo uma faculdade dentro de uma universidade, são também DMUs colectivas.

O que a DEA procura é comparar unidades, DMUs, do mesmo tipo, neste caso alunos com alunos, classes com classes, diferentes departamentos entre si ou mesmo as diferentes

¹³ Decisão multicritério

¹⁴ *Socio-Economic Planning Sciences*

faculdades dentro de uma mesma universidade. O ponto-chave está no facto das DMUs terem de ser semelhantes entre si, a nível funcional e formal.

Vejamos este exemplo, se o nosso objecto de estudo fosse um conjunto de diferentes balcões de um mesmo banco, o resumo da análise DEA seria o seguinte:

Tabela 2 - Inputs/Outputs do exemplo dos balcões de um Banco

DMUs	Inputs	Outputs
DMU ₁ – Balcão 1	Número de empregados Número de horas de atendimento ao público/dia Número de balcões de atendimento	Número de clientes atendidos/dia Número de cheques depositados/dia Valor dos depósitos/dia
DMU ₂ – Balcão 2	Número de empregados Número de horas de atendimento ao público/dia Número de balcões de atendimento	Número de clientes atendido/dia Número de cheques depositados/dia Valor dos depósitos/dia

O nosso caso de estudo seria então perceber qual ou quais, destes dois hipotéticos balcões, seria(m) o(s) mais eficiente(s), considerando um universo comparativo de dois elementos. A eficiência é medida de um elemento relativamente ao outro.. Para tal recorrendo á técnica DEA a maior eficiência relativa seria aferida, comparando os resultados obtidos.

Numa análise de um único critério típica, faríamos o seguinte rácio, por exemplo:

$$\text{DMU}_1 - \text{Balcão 1: } h_k = \frac{\text{Número de clientes atendidos}}{\text{Número de balcões de atendimento}} \quad (2)$$

em que h_k define neste exemplo o índice de eficiência.

Deste rácio, sabemos que por cada balcão existe um número médio de clientes atendido. Comparando este rácio para a DMU₁ e para a DMU₂, poderíamos aferir qual o mais eficiente, neste caso, o que tivesse o maior valor de h_k seria o mais eficiente, uma vez que teria o maior número de clientes atendido por balcão.

A DEA permite aprofundar este estudo, aumentando o número de factores para análise de eficiência, além de que permite ultrapassar dois problemas nesta análise por rácios, a dificuldade de interpretação dos rácios e outra dificuldade adicional que surge na elaboração dos *rankings* de eficiência, podendo existir tantos rácios quanto o número de *inputs* e/ou *outputs*, podendo cada DMU ter um *ranking* diferente para cada rácio considerado.

Para ultrapassar estas dificuldades, a DEA utiliza uma medida de eficiência ponderada, em que cada um dos factores tem um “peso” designado ou atribuído, que representam a importância (relativa) de cada *input* e *output*. Medida de eficiência essa, na qual multiplica cada *input* pelo seu peso, soma-os e divide-os, pela soma dos *outputs* multiplicados pelos seus pesos respectivos.

Consideremos um exemplo particular do anteriormente apresentado: duas DMUs correspondentes a dois balcões distintos da mesma instituição bancária que são analisadas em termos de eficiência relativa, utilizando para a medição deste indicador, dois *Inputs*, Número de balcões de atendimento e Número de horas de atendimento/dia, e três *Outputs*, Número de clientes atendidos/dia, Número de cheques depositados/dia e Valor dos depósitos/dia. A Tabela 3 resume os dados.

Tabela 3 - Resumo dos dados do exemplo dos balcões de um Banco

Unidade decisora	<i>Input</i>	Peso	Valor observado	<i>Output</i>	Peso	Valor Observado
DMU ₁	Número de balcões de atendimento	A	X	Número de clientes atendido/dia	C	W
	Número de horas de atendimento/ Dia	B	Z	Número de cheques depositados/dia	d	K
				Valor dos depósitos/dia	e	L

Assim para a DMU₁, a medida de eficiência h_1 seria:

$$h_1 = \frac{a.X + b.Z}{c.W + d.K + e.L} \quad (3)$$

Fazendo este cálculo também para a DMU₂, com os resultados observados, poderíamos comparar os índices de eficiência. A(s) DMU(s) mais eficientes teriam de ter um índice de referência igual a 1, tornando-se assim a referência para o grupo em análise¹⁶. Neste caso

¹⁵ Esta é uma representação simplificada da medida de eficiência relativa que é calculada pela técnica DEA, não correspondendo a nenhum modelo específico, nem nenhuma orientação em particular. Ajuda a compreender melhor o cálculo, mas não nos podemos esquecer a uma resolução por DEA recorre á Programação Linear, não estando aqui definidas as restrições subsequentes. De salientar que esta é a forma fraccional original de representar a técnica DEA, forma essa que não será idêntica á forma de representar as formulações matemáticas que veremos mais adiante neste relatório.

¹⁶ Este resultado seria possível manipulando os pesos de cada factor.

não interessa se se poderia produzir mais ou de uma forma mais eficiente, de uma forma global, mas o que se calcula na técnica DEA é a eficiência relativa, num grupo de n entidades tem de existir uma ou mais do que uma, que face aos *inputs* e *outputs* estudados, tem ou têm de ser a(s) mais eficiente(s) de entre si. O cálculo dos pesos é automático na técnica DEA¹⁷. A atribuição dos pesos implica algumas dificuldades, nomeadamente, a dificuldade de avaliação da importância dos *inputs* e *outputs*, acrescida da diferente importância que cada um pode ter nas diferentes DMUs¹⁸. Charnes, Cooper e Rhodes no seu trabalho original (Charnes *et al*, 1978) admitem que cada DMU pode mesmo estabelecer os seus pesos de forma a ser favorecida na análise de eficiência. A autoavaliação dos pesos permite que não seja necessário recorrer a serviços de consultoria em formato de *outsourcing* para compreender o processo produtivo e imputar assim os pesos devidos a cada factor (Kutvonen, 2007).

A DEA apresenta-se como uma forma de criar um *benchmarking* entre empresas e/ou departamentos e/ou instituições. Recorrendo a uma resolução do problema por Programação Linear (PL) para cada uma das empresas, é possível identificar aquelas cujo plano de produção, dados os pesos (preços) determinados para as suas quantidades de *inputs* e *outputs*, não pode ser superado pelo plano de produção de nenhuma outra empresa.

Um aspecto de maior relevo a destacar na DEA, é que a dificuldade que existia na comparação de unidades semelhantes, foi ultrapassada pelo emprego de resolução por PL, através do qual resolve-se um sistema de inequações que permitirá maximizar os resultados, sendo atendidas as restrições respeitantes aos *inputs* e aos processos produtivos (Ehrlich, 2005). A DEA apresenta-se assim como sendo uma técnica de investigação operacional, baseada na programação linear, que tem como objectivo comparar o desempenho operacional de unidades de produção (Lachtermacher, 2005).

A DEA lida com a melhor performance, ou as melhores performances, tendo assim, como vimos um papel importante em análise por *benchmarking* e na aferição das melhores práticas (Kutvonen, 2004), no entanto a DEA não está livre de que ocorram empates e pode acontecer que existam n DMUs com um índice de eficiência igual a 1, aí pode-se recorrer a uma medida de desempate, através de uma análise de sensibilidade. Essa medida, chamada de supereficiência, mede pela análise de sensibilidade, o aumento ou diminuição (de *inputs* e *outputs*) que cada DMU eficiente pode suportar, sem deixar de ser eficiente (Kassai, 2002).

¹⁷ Os *softwares* conseguem por iterações sucessivas, encontrar o peso que maximiza ou minimiza o resultado de eficiência, havendo assim de certeza uma ou mais DMUs que tem um índice de eficiência de 1.

¹⁸ In DEA Tutorial, www.deazone.com.

A técnica DEA tem vários modelos e factores a definir. No ponto seguinte definimos alguns dos mais importantes, para poder compreender melhor como se efectua a medição de eficiência.

3.3.2 Características dos modelos

A técnica DEA teve na sua génese o modelo CCR ou CRS¹⁹, de *Charnes, Cooper e Rhodes*, em 1978. Em 1984, *Banker Charnes e Cooper*, criaram um modelo, denominado de BCC ou VRS²⁰, mas foram muitos os autores e investigadores²¹ que desenvolveram modelos de DEA, para aplicar aos seus casos de estudo, entre eles. Para cada tipo de binómio produção - tecnologia, como refere o Professor *Dae*²² (Dae), pode ser criado um modelo.

Num dos pontos seguintes deste relatório vamos falar da taxonomia criada por Gattoufi²³, onde se define um conjunto de directrizes que podem ser usadas na definição dos problemas que recorrem á análise de eficiência relativa pela técnica DEA. Os modelos utilizados são um desses parâmetros.

Os modelos podem ser definidos sob várias dimensões. A Figura 11 procura resumir como se podem definir os modelos DEA.

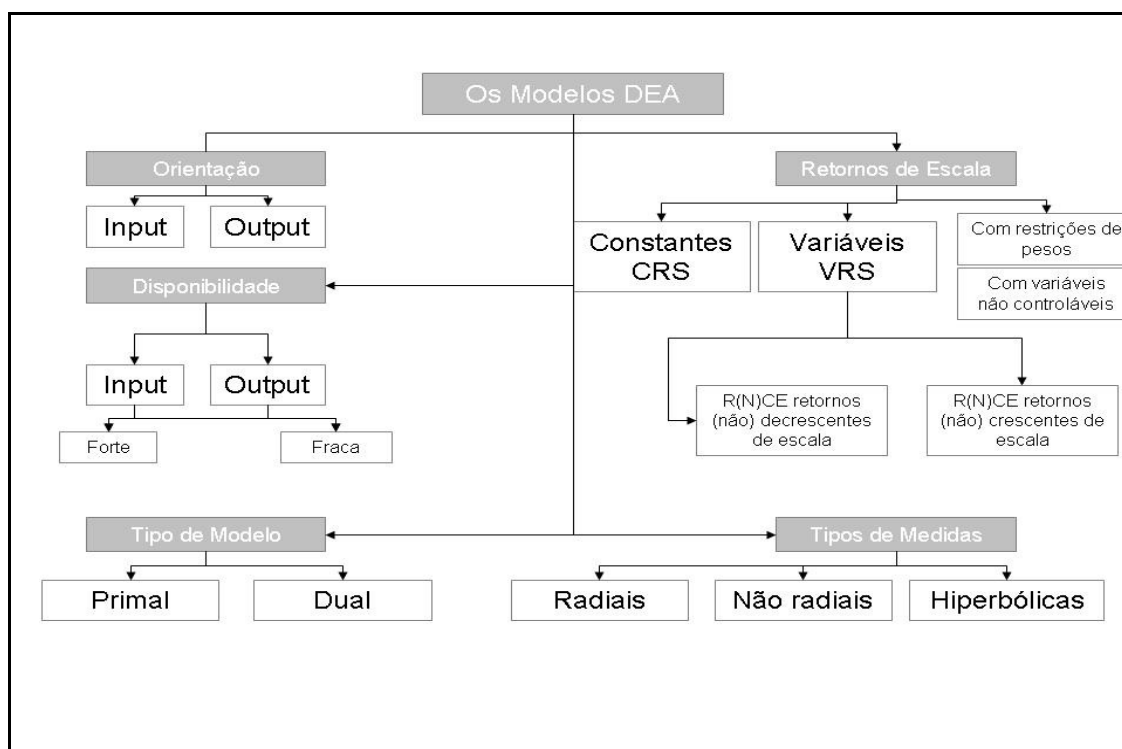


Figura 11 - Os modelos DEA: categorias de caracterização

¹⁹ *Constant returns of scale* ou em português, Retornos constantes de escala.

²⁰ *VRS Variable returns of scale*

²¹ Consultar a biblioteca de Dae, onde se faz um apanhado da maioria dos modelos criados, no âmbito da análise DEA.

²² P.H. Dae da Warwick University.

²³ Sub capítulo 3.4 deste relatório

Os modelos DEA podem ser definidos segundo as características acima apresentadas: Retornos de Escala, Orientação, Disponibilidade, Tipo de modelo e Tipo de medidas. Vamos procurar perceber melhor estas categorias de definição.

A. Retornos de Escala

Como vimos existem dois grandes modelos, o modelo de 1978 elaborado por *Charnes, Cooper e Rhodes* (CCR) também chamado de CRS (*constant returns of scale*) e o modelo de 1984 de *Banker, Charnes e Cooper* (BCC) denominado de VRS (*variable returns of scale*). Os dois modelos apresentam uma grande diferença de assumpção de como são definidos os retornos de escala, o modelo CCR preconiza um retorno constante de escala e o modelo BCC assenta num retorno variável, mas estas visões resumem-se da seguinte forma:

- **Retornos constantes (CRS):** maiores quantidades de *inputs* provocam o aumento, proporcional, dos *outputs* (e.g. um vendedor porta a porta tende a vender mais quantas mais visitas faça, e vice-versa. Considerando um sistema ideal, uma visita = uma venda);
- **Retornos variáveis (VRS):**
 1. Crescentes: aumentos nas quantidades de *inputs* implicam aumentos marginais mais do que proporcionais nos *outputs*; (e.g. clientes fieis a um produto tendem a comprar mesmo que haja pouco investimento em *marketing*; por exemplo, numericamente, aumentos de mais uma unidade de *inputs*, resultam em aumentos sucessivos, de 1,1; 1,3; 1,6 e assim sucessivamente nos *outputs*);
 2. Decrescentes: aumentos nas quantidades de *inputs* implicam diminuições marginais sucessivas nos *outputs* (e.g. mesmo com o aumento do investimento em *marketing*, o cliente continua a comprar menos produto; por exemplo, numericamente, por cada aumento de uma unidade de *input*, temos crescimentos de 0,9, 0,7, 0,4 e assim sucessivamente, até uma situação de retorno variável não decrescente);
 3. Não crescentes: aumentos nas quantidades de *inputs* resultam em crescimentos marginais de *outputs* sempre iguais (e.g. aumentos de uma unidade em *inputs*, implicam sempre aumentos menores do que proporcionais, constantes, dos *outputs*, numericamente, um aumento de uma unidade de *input*, resulta num aumento constante de, por exemplo, 0,9, por

mais que se aumente a quantidade de *inputs* o crescimento marginal de *outputs*, não acompanha esses crescimentos;

4. Não decrescentes: o aumento das quantidades de *inputs*, não resulta em diminuições marginais das quantidades de *outputs* (e.g. mais uma unidade de *input*, não leva a diminuições sucessivas das quantidades de *outputs*, aqui podemos mesmo considerar uma variação nula das quantidades de *outputs*).

B. Orientação

Tanto o modelo CCR como o modelo BCC podem ter uma de duas orientações, ou são orientados para *inputs* ou orientados para *outputs*. Estas orientações resumem-se da seguinte forma.

1. **Orientação *input*:** procura minimizar os consumos de *inputs* de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado, expresso pela maximização do somatório das quantidades produzidas Y , multiplicados pelos pesos (preços) u ;
2. **Orientação *output*:** maximização do nível de produção, utilizando no máximo o consumo dos *inputs* observados;

Recordemos que a DEA é uma medida de eficiência relativa que é calculada pelos rácios entre *outputs* e *inputs*²⁴, e assim sendo, existem duas formas de aumentar este rácio, ou se diminui o denominador ou se aumenta o numerador, o que se traduz em linguagem de DEA, ou se minimiza *inputs* ou se maximizam os *outputs*.

Consideremos a seguinte Figura.

²⁴ Isto na forma fraccional.

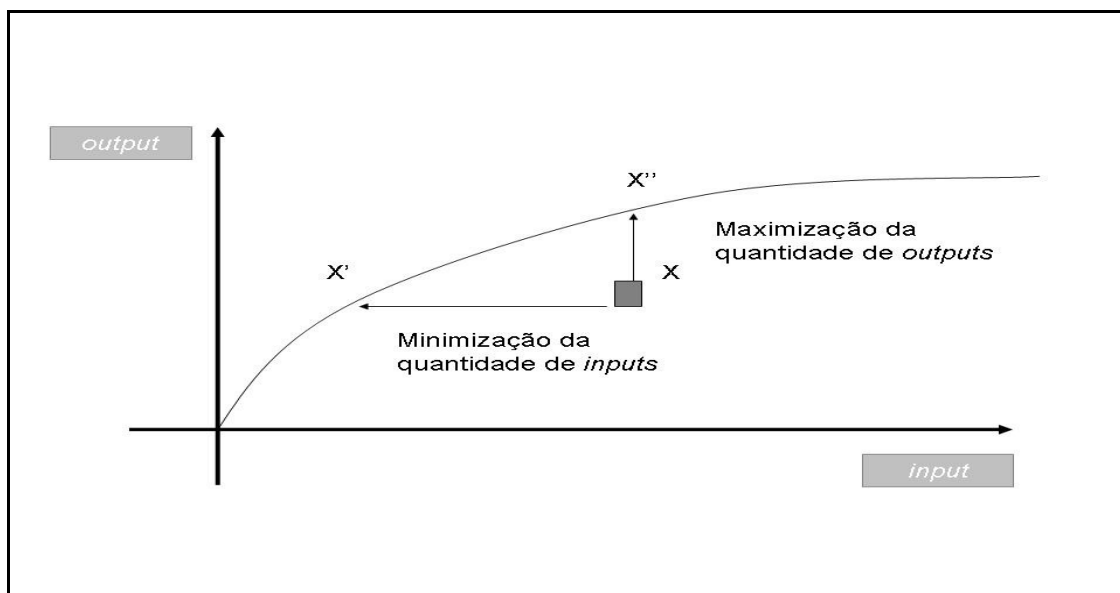


Figura 12 - Comparação da abordagem *input* e da abordagem *output*

Podemos observar as duas abordagens dos modelos CCR ou BCC para um mesmo ponto. Considerando um mesmo ponto de possibilidade de produção, neste caso um ponto ineficiente, X, podemos tentar desenhar o que representam as duas visões, que devem reflectir a política produtiva e a estratégia onde se inserem respectivamente as DMUs,. Se procurarmos a minimização dos *inputs* a nova posição passa de X para X', se procuramos a maximização dos resultados, passamos do ponto X para o ponto X'', de qualquer uma das formas, aumentamos a medida de eficiência da DMU em causa, uma vez que conseguimos deslocar o ponto até á linha de fronteira eficiente. A adopção de uma das abordagens, como foi referido, depende de qual o objectivo inicial da entidade que produz, reduzir os recursos alocados na produção e produzir da forma mais eficiente possível com essa nova quantidade, ou pelo contrário, com a mesma quantidade de recursos, aumentar a produção, através de medidas que aumentem a produtividade, e.g., aumento da remuneração dos empregados, caso este não seja um *input* considerado na análise.

Com a definição das duas abordagens e com a assumption das diferenças entres os dois modelos mais importantes na DEA, podemos passar para a definição matemática dos modelos.

O esquema da página 55 procura resumir as formulações num quadro. Torna-se uma forma mais directa de ter uma visão global sobre as 4 formulações, atrás referidas, duas (abordagem *input* e *output*) do modelo CCR e mais duas do modelo BCC.

	CCR	Os Modelos DEA	BCC
Orientação input	<p>Maximizar $h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$,</p> <p>sujeito a :</p> $\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0$ $\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$ $u_r, v_i \geq 0$ <p>$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$</p> <p>$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$</p>	<p>Maximizar $\sum_{i=1}^n u_r y_{rk} - u_k$,</p> <p>sujeito a :</p> $\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$ $\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0$ $u_r, v_i \geq 0$ <p>$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$</p> <p>$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$</p>	
Orientação output	<p>Minimizar $h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik}$,</p> <p>sujeito a :</p> $\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0$ $\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$ $u_r, v_i \geq 0$ <p>$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$</p> <p>$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$</p>	<p>Minimizar $h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v_k$,</p> <p>sujeito a :</p> $\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1$ $\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - v_k \leq 0$ $u_r, v_i \geq 0$ <p>$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$</p> <p>$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$</p>	

Como foi referido anteriormente, nestas formulações, já não encontramos uma forma fraccional de cálculo da eficiência relativa.

Adaptando de *Kassai* (Kassai, 2002) e *Seiford* (Seiford & Thrall, 1990), temos as seguintes equações que vamos passar a analisar.

Modelo CCR (1978), orientação *input*

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{r=1}^s u_r y_{rk}, \quad (4.1)$$

sujeito a :

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (4.2)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1 \quad (4.3)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4.4)$$

$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

Este modelo visa minimizar os consumos de *inputs* de forma a produzir no mínimo o nível de produção dado, expresso pela maximização do somatório das quantidades produzidas y multiplicadas pelos pesos (preços) u (4.1). A primeira restrição (eq. 4.2) define-se como sendo o resultado da DMU, uma vez que é a subtracção do somatório das quantidades produzidas multiplicadas pelos pesos dos *outputs* ($\sum_{r=1}^m u_r y_{rj}$) e o somatório da multiplicação

dos *inputs* consumidos pelos pesos (preços) ($\sum_{i=1}^n v_i x_{ij}$). Está limitado a 0, pelo que, as

empresas eficientes obterão o resultado 0, para a primeira restrição. Na segunda restrição, (eq. 4.3), o somatório do produto das quantidades consumidas de recursos pelos pesos

(preços) específicos para a empresa k ($\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}$) é igual a 1. Daqui se conclui que o máximo

resultado possível de se obter para h_k é 1. Caso não seja, obter-se-á um indicador de eficiência sempre inferior a 1. Depois de se resolver o problema de programação linear, obtém-se a(s) DMU(s) que apresentam um índice de eficiência igual 1.

Modelo CCR (1978), orientação *output*

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik}, \quad (4.5)$$

sujeito a :

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq 0 \quad (4.6)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (4.7)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4.8)$$

$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

Este modelo é equivalente ao anterior, sendo que as conclusões acima indicadas e as definições de restrições são homólogas, a única diferença advém da orientação, que transforma este modelo numa maximização do nível de produção, utilizando no máximo o nível de *inputs* observados. Tal como o modelo anterior, este também pressupõe retornos de escala constantes.

Modelo BCC (1984), orientação *input*

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n u_r y_{rk} - u_k, \quad (4.9)$$

sujeito a :

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1 \quad (4.10)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - u_k \leq 0 \quad (4.11)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4.12)$$

$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

u_k = variável que representa os retornos de escala variáveis, que não está sujeita à restrição de positividade, podendo assumir valores negativos.

Kassai (Kassai, 2002) afirma no seu trabalho “ao possibilitar que a tecnologia exiba propriedades de retornos á escala, diferentes ao longo da sua fronteira, esse modelo admite que a produtividade máxima varie em função da escala de produção”. Na realidade, esta é a grande inovação do modelo BCC, admite uma nova variável, u_k , que como está acima referido, não está sujeita à restrição de positividade.

Modelo BCC (1984), orientação *output*

$$\text{Minimizar } h_k = \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} + v_k, \quad (4.14)$$

sujeito a :

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rk} = 1 \quad (4.15)$$

$$\sum_{r=1}^m u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ij} - v_k \leq 0 \quad (4.16)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad (4.17)$$

$y = \text{outputs}, x = \text{inputs}, u, v = \text{pesos}$

$r = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, N$

v_k = variável que representa os retornos de escala variáveis, que não está sujeita á restrição de positividade, podendo assumir valores negativos ou positivos.

Em tudo semelhante ao modelo anterior excepto na orientação. Aqui a nova variável assume a designação de v_k .

Ainda na categoria da orientação dos modelos surgem, a título meramente de referência, os modelos com restrições de pesos e os modelos com variáveis não controláveis. Os primeiros, modelos com restrições de pesos, admitem um novo conjunto de restrições, de forma a evitar os pesos nulos, entrando todos os elementos, *inputs* e *outputs*, no cálculo da eficiência. Os modelos com variáveis não controláveis admitem a existência de um novo conjunto de elementos, aquando da projecção para a fronteira de eficiência.

C. Disponibilidade

A disponibilidade²⁵ do modelo, representa a maior ou menor propensão que este pode apresentar para assumir uma orientação *input* ou *output*, orientação essa que pode ser caracterizada como forte ou fraca, consoante seja facilmente (usado este termo com alguma reserva, uma vez que a facilidade advém da capacidade de utilização da ferramenta DEA), criado/adaptado, um modelo para um caso de estudo específico. Por exemplo, se considerarmos um modelo que tem o número de operários como *input*, uma orientação que procure minimizar os *inputs*, pode ser restringido ou mesmo inibido, e assim ser considerado um modelo fraco na orientação referida, pelos problemas adjacentes que advém da rescisão de contratos²⁶.

²⁵ Tradução directa do termo inglês *disposability*.

²⁶ Aqui um modelo com variáveis não consideradas poderia ser uma boa solução, uma vez que teriam de ser considerados novos factores, e.g., indemnizações, redução exacerbada da produtividade, na aproximação á eficiência máxima.

D. Tipos de modelos

Pela resolução dos problemas de programação linear, podem-se adoptar duas formulações, a formulação primal e a formulação dual. Na análise de eficiência relativa pela técnica DEA, como se recorre á programação linear, também podemos encontrar este binómio de resolução. As equações seguintes procuram demonstrar, para um problema genérico, como se obtém ambas as soluções:

1. Modelo Primal:

$$\text{Maximizar } h_k = \sum_{\text{outputs}} u_o y_{k,o} \quad (5.1)$$

$$\text{sujeito a : } \sum_{\text{inputs}} v_o x_{k,i} = 1 \quad (5.2)$$

$$\sum_{\text{outputs}} u_o y_{k,i} - \sum_{\text{inputs}} v_o x_{k,i} \leq 0 \quad \text{para todas as } k \text{ DMUs} \quad (5.3)$$

$$u_o, v_i \geq 0 \quad (5.4)$$

2. Modelo Dual:

$$\text{Minimizar } \theta_k - \sum_{\text{inputs}} S_i^- - \sum_{\text{inputs}} S_i^+ \quad (6.1)$$

$$\text{Sujeito a : } \theta_k x_{k,i} - \sum_{k \text{ DMUS}} x_{d,i} \lambda_d - S_i^- = 0 \text{ para todos os inputs} \quad (6.2)$$

$$y_{k,o} - \sum_{k \text{ DMUS}} y_{d,o} \lambda_d - S_o^+ = 0 \text{ para todos os outputs} \quad (6.3)$$

$$S_i^-, S_o^+, \lambda_d \geq 0 \text{ para todos os inputs e outputs} \quad (6.4)$$

Os termos S_i^-, S_o^+ quantificam a ineficiência para os *inputs* e *outputs*, respectivamente.

E. Tipos de medidas

O tipo de medida do modelo relaciona-se com a forma matemática, utilizada em cada modelo para quantificar as medidas de eficiência. As mais comuns são as medidas radiais e as não radiais, mas destacam-se ainda as medidas geométricas e hiperbólicas.

O fluxograma, a seguir apresentado, procura resumir a metodologia de aplicação da ferramenta DEA, em casos práticos. Este fluxograma, procura demonstrar, um pouco do processo de aplicação da DEA e quais os factores chave na criação de um estudo, em que se recorre á aplicação, da DEA, na análise de eficiência relativa.

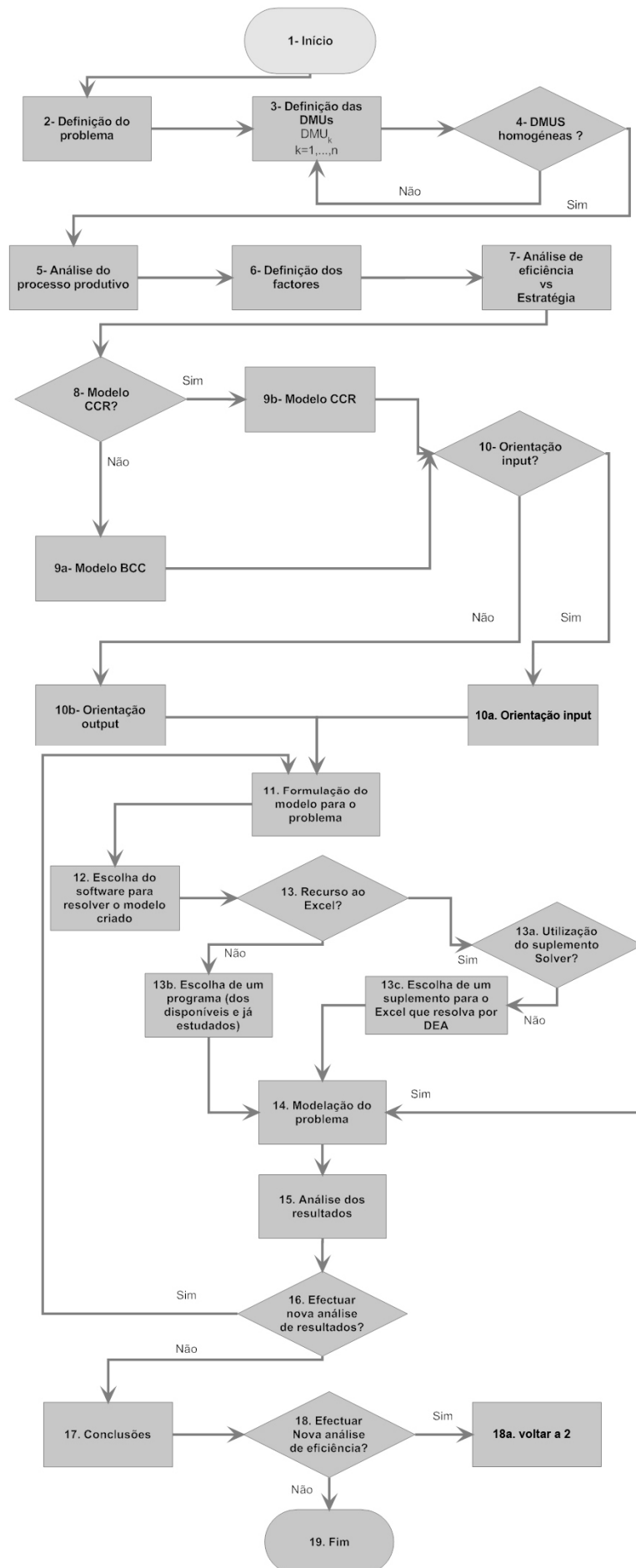


Figura 13 - Fluxograma da aplicação da ferramenta DEA

Os pontos que se seguem, procuram não só legendar o fluxograma da página anterior, como detalhar um pouco cada uma das fases apresentadas.

1. Início do processo de análise de eficiência relativa com recurso á técnica DEA;
2. Comparar diferentes DMUs, com características semelhantes e encontrar, através de uma ferramenta, a DEA, um índice de eficiência relativa para cada uma delas, utilizando múltiplos indicadores. Procura-se assim, encontrar a(s) DMU(s) que melhor utiliza(m) os recursos, á sua disposição;
3. Objectivo: encontrar um conjunto de DMUs que sejam homogéneas entre si, ou seja:
 - a) Existem semelhanças tecnológicas;
 - b) Existe convergência nas actividades desenvolvidas e nos objectivos;
 - c) Indicadores (*inputs/outputs*) semelhantes.

A dimensão n da mostra deve respeitar algumas regras:

- Quanto maior o número de DMUs, melhor e mais facilmente são detectadas as relações entre *inputs* e *outputs*.
 - Se existir uma disparidade entre o número de indicadores (número elevado) e o número de DMUs, aumenta a probabilidade de termos DMUs eficientes, pelo que deve ser respeitada, sempre que possível, a regra $\#DMUS = 2^{*}(\# Outputs + \# Inputs)$;
4. Depois de seleccionadas as DMUs, há que voltar a analisar o grupo de entidades escolhidas, de forma a ter a certeza que as condições necessárias (ver ponto 3) são cumpridas. Caso exista(m) DMU(s) fora destas condições, há que repetir a análise das DMUs e assumir parâmetros de comparação mais correctos. No caso das DMUs seleccionadas estarem todas conformes, passamos para a análise do processo produtivo;
 5. Identificar quais os elementos que vão ser utilizados para indicadores de referência de entrada e saída, respectivamente, *inputs* e *outputs*. Esta análise é feita em duas fases:
 - a) Identificação e selecção dos factores produtivos relevantes;
 - b) Análise quantitativa (levantamento quantitativo dos factores, análise e tratamento de dados);
 6. Definir *inputs* X e *outputs* Y, respeitando:
 - Positividade dos dados, em que cada valor de *input* e/ou *output*, tem de ser maior ou igual a zero;
 - Isotonicidade (estudada pelo índice de correlação de dados, por exemplo) em que é espectável que exista um aumento da quantidade dos *outputs*, quando são aumentadas as quantidades dos *inputs*;

7, 8 e 9a/9b. Através da compreensão do processo produtivo, pode-se escolher de uma forma mais correcta o modelo DEA a utilizar:

- Modelo CCR;
- Modelo BCC;

10, 10a/10b. De acordo com a estratégia definida, deve-se a orientação a adoptar:

- Objectivo estratégico = maximizar *outputs* = orientação *output*;
- Objectivo estratégico = minimizar *inputs* = orientação *input*

De acordo com a orientação escolhida, deve-se definir convenientemente as restrições respectivas.

11. A formulação do plano de análise do caso de estudo é no fundo a reunião de toda a informação colectada até este ponto e colocá-la de forma a poder ser resolvido o problema de avaliação da eficiência relativa por DEA. Este ponto divide-se nas seguintes fases:

- a) Saber qual o processo de *benchmarking* estabelecido;
- b) Definir as DMUs (quais são e quantas entram para análise);
- c) Definição de *inputs* e *outputs*, através da análise do processo produtivo;
- d) Adaptar a análise de eficiência á estratégia definida pela entidade gestora (quem através da DEA decide as acções a implementar);

12. Consultar os capítulos 3 e 4 deste relatório. Aqui uma divisão possível de categorias seria:

- EXCEL e os seus suplementos;
- *Softwares* que não o EXCEL, mas que podem utilizar dados provenientes do EXCEL:

13, 13a, b, c. Caso se opte por utilizar o EXCEL, podemos recorrer ao suplemento Solver.xls, que através da resolução por PL, consegue modelar problemas de DEA²⁷;

14. Depois da selecção do *software*, é necessária a capacidade de modelar o problema em estudo, p.e., DMUs, restrições, retornos de escala, orientação, etc;

15. A análise de resultados está directamente dependente do tipo de respostas que cada *software* pode dar. Alguns exemplos de dados a analisar são, *Rankings* e Índices de eficiência, Frequências absolutas de frequências, Folgas, etc.

16. A decisão de ter de efectuar uma nova análise, pode estar dependente da incapacidade de, até então, responder a todas as premissas iniciais. Caso se opte por efectuar uma nova análise, recomenda-se uma reavaliação do plano de análise do caso de estudo, começando por reformular o mesmo. Caso não se pretenda efectuar uma nova análise dá-se por concluído o estudo.

²⁷ Outras funcionalidades do EXCEL, que não o Solver.xls, estão também disponíveis, com as suas especificidades e resultados que podem apresentar mais ou menos dados/respostas.

17. Podem-se identificar duas dimensões básicas de conclusões:
- a) Capacidade da DEA responder ao problema inicial;
 - b) Conjunto de respostas obtidas pela análise DEA (que podem ser informação útil para melhorias de processos produtivos menos eficientes);
- 18 e 18^a. Uma nova análise de eficiência relativa pode ser pertinente, por exemplo, para compreender melhor a evolução de determinadas DMUs ao longo do tempo. Quando se efectua uma nova análise por DEA, reinicia-se o processo no ponto 2.
- 19 A conclusão do estudo é verificada quando todos os passos anteriores forem tomados e os resultados obtidos e analisados.

3.3.3 Exemplos de aplicação

Depois de aprofundado o conhecimento da técnica DEA, vamos, através do recurso a alguns exemplos práticos e alguns *softwares*, compreender quais as respostas para os diferentes casos de estudo que se pode obter através da DEA.

A resolução de problemas de análise de eficiência relativa através da ferramenta DEA, pode levantar alguns problemas, quando é aplicado um *software*, como é o caso do SOLVER.xls, que implique uma programação de todos os cálculos inerentes. Os exemplos que foram desenvolvidos neste subcapítulo procuram mostrar como se modelam problemas em DEA, através da utilização de *softwares* que requerem uma programação avançada ou *softwares* que necessitam apenas da computação de dados e os resultados conseguintes são automaticamente calculados pelo mesmo.

Assim foram desenvolvidos três exemplos.

Os dois primeiros exemplos foram resolvidos através da programação no SOLVER.xls, sendo o xIDEA, utilizado para confirmar os resultados obtidos. Estes exemplos são os mais simples, tanto no número de indicadores, como no número de DMUs, assim como no modelo utilizado, o modelo CCR nas suas duas orientações principais.

O terceiro exemplo será apenas resolvido no DEA-SAED v1.0. Neste exemplo, utilizou-se um número maior de DMUs e foi resolvido através do modelo BCC, na orientação *input*.

Antes de efectuar uma análise de eficiência relativa por DEA, há que verificar se o problema respeita as condições necessárias, para ser resolvido por DEA.

Tabela 4 - Condições de aplicabilidade da técnica DEA

Condição	Definição
1. Dados positivos?	Os dados relativos aos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> são normalmente considerados como sendo obrigatoriamente positivos, á excepção de certos modelos específicos.
2. Propriedade da Isotonicidade é verificada?	A isotonicidade atesta que a relação de aumento dos <i>outputs</i> face ao aumento dos <i>inputs</i> , é verificada. Esta relação pode ser verificada efectuando um estudo do coeficiente de correlação entre os <i>inputs</i> e os <i>outputs</i> ou através de um teste de significância.
3. Número de DMUs suficiente?	O número mínimo ideal de DMUs é três, dotando o problema no mínimo do mesmo número de graus de liberdade. Recomenda-se que o número de DMUs seja duas vezes o número de <i>inputs</i> somado ao número de <i>outputs</i> . (Ehrlich, 2005).]
4. Homogeneidade das DMUs?	A homogeneidade tem de ser comprovada através de um estudo aprofundado dos processos produtivos de cada uma das DMUs a estudar. As DMUs que forem consideradas homogéneas podem ser incluídas no estudo.
5. Qual a janela temporal de análise?	A análise de eficiência pode ser efectuada num acto isolado ou como uma metodologia recorrente, com um período de repetição bem definido, e.g., anual, semestral, etc.

Tabela 5 - Condições de aplicabilidade da técnica DEA (continuação)

Condição	Definição
1. Determinação dos pesos?	Os pesos são determinados automaticamente em DEA, de forma a permitir obter o melhor resultado possível, para cada DMU. A DEA é assim vista como uma ferramenta que aponta para a melhoria dos processos e valorização das mais valias de cada unidade. Os pesos podem também estar sujeitos a restrições, consoante a entidade que recorre á análise por DEA assim o entenda, fixando valores ou criando obrigatoriedades, e.g., nenhum peso pode ser igual a zero. A determinação dos pesos reduz a “liberdade” do modelo, mas ao mesmo tempo, cria um sentido de maior realidade, dotando o modelo de relações mais fiáveis e semelhantes ao que acontece na realidade, e.g., se um peso for zero numa análise de eficiência, indica que o factor em causa, não está considerado, o que é demasiado redutor e na realidade estes dados deveriam ser incorporados na análise.

A análise de eficiência relativa por DEA pode ser resolvida através do Solver, um suplemento do Excel. Através da resolução por PL, conseguimos encontrar os pesos e os índices de eficiência para cada DMU. Comecemos por perceber como se pode usar o Solver para resolver problemas de PL.

Consideremos o seguinte exemplo (Lachtermacher, 2005):

$$\text{Max } z = 3 X_1 + 2 X_2$$

Procura-se maximizar a função Z, achando os valores de X_1 e X_2 que o permitam.

Mas X_1 e X_2 estão sujeitos a restrições, não sendo possível ter os valores destes factores em quantidades indeterminadamente elevadas. Assim para encontrar os valores máximos de X_1 e X_2 , temos de respeitar as condições:

1. $X_1 + 2 X_2 \leq 6$
2. $2 X_1 + X_2 \leq$
3. $- X_1 + X_2 \leq 1$
4. $X_2 \leq 2$
5. $8 X_1 \text{ e } X_2 \leq 0$

Definimos assim os três elementos essenciais da modelação de problemas de programação linear:

1. A função objectivo = MAX z;

2. As variáveis de decisão: X_1 e X_2 (aquelas que se podem modelar);
3. Para cada restrição: uma para o lado esquerdo da restrição LHS e outra para o lado direito da restrição RHS.

Uma possível representação de uma folha de cálculo para este exemplo é a seguinte:

1. Começemos por resumir as fórmulas inseridas na folha de cálculo:

Célula B5	$=(B3*B4)+(C3*C4)$	Função objectivo	-
Célula D9	$=B9*\$B\$4+C9*\$C\4	LHS da restrição	1ª
Célula D10	$=B10*\$B\$4+C10*\$C\4	LHS da restrição	2ª
Célula D11	$=B11*\$B\$4+C11*\$C\4	LHS da restrição	3ª
Célula D12	$=B12*\$B\$4+C12*\$C\4	LHS da restrição	4ª

2. As células B4 e C4 representam os valores que as variáveis assumem na solução final.

Depois de definir o modelo, há que resolvê-lo. Para isso recorremos ao Solver (Excel - Ferramentas – Suplementos - Solver) e temos de o programar para resolver o problema, definindo as células que vão ser a função objectivo, quais as restrições e no fim mandá-lo executar a resolução.

	A	B	C	D	E
1	Função	Coeficientes das variáveis			
2	Objectivo	X1	X2		
3		3	2		
4	Variáveis				
5	Z=	0			
6					
7	Restrições	Coeficientes das Variáveis			
8	Nº	X1	X2	LHS	RHS
9	1	1	2	0	6
10	2	2	1	0	8
11	3	-1	1	0	1
12	4	0	1	0	2

Figura 14 - Modelação do exemplo 1 no Excel

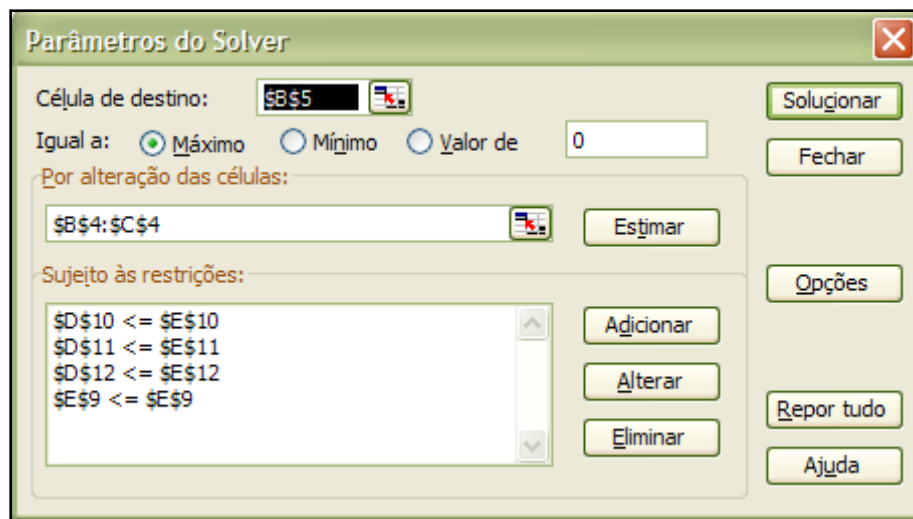


Figura 15 - Parâmetros de entrada para análise pelo Solver

Recordemos que as células D9 a D12 são os LHS das restrições, sendo já estas, relações lineares entre as variáveis. As células E9 a E12 representam os RHS das restrições, ou seja os elementos depois da função de inequação. Com o sinal respectivo, neste caso, \leq , em todas as restrições, podemos definir todos os parâmetros do modelo e dar a ordem ao Solver para resolver (definindo no menu opções, assumir modelo linear e assumir valores não negativos, ou seja X_1 e $X_2 \geq 0$). Caso não existam erros ou incongruências, o Solver devolve a seguinte mensagem:

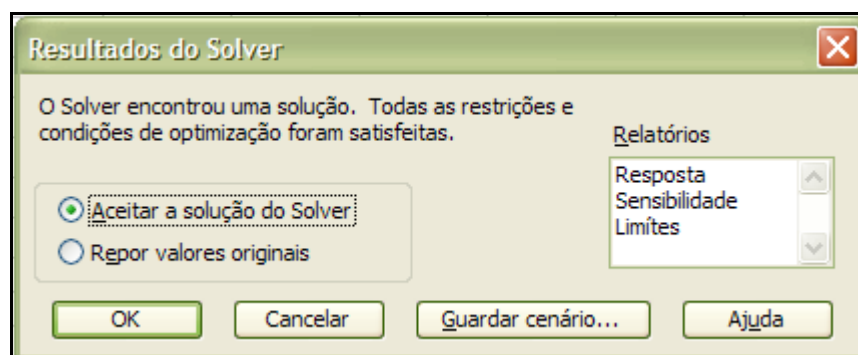


Figura 16 - Resultado da ferramenta Solver

Neste caso o Solver envia uma mensagem que diz que este encontrou uma solução e que todas as restrições e condições foram satisfeitas. Esta mensagem poderia ser menos benevolente, identificando problemas que tenham ocorrido tanto na modelação como na resolução. Os relatórios que aparecem no lado direito, serão explorados mais á frente neste relatório, mas podemos já abordar um pouco do Relatório de Resposta.

Este relatório devolve as respostas ao modelo, dando o valor da função objectivo, depois de substituídos os valores das variáveis na solução, os próprios valores das variáveis e na terceira parte do relatório, uma análise das restrições.

Obtemos aqui três dados relevantes, o Valor da célula, indicando o valor que a restrição devolve quando substituídas as variáveis pelos valores da solução óptima. A Fórmula, onde

podemos observar a fórmula de cada restrição e, por fim, devolve o Estado e a Transigência²⁸. O Estado pode ser Agrupar ou Sem agrupar, consoante o LHS seja igual ao RHS na solução ótima ou não, sendo que agrupar indica se a restrição limita ou não a solução ótima. A transigência, diferença entre LHS e RHS da restrição, permite aferir se é necessário, ou não, criar uma variável de folga (tal só é necessário se o valor desta diferença for positivo).

Tendo já algumas noções de resolução de problemas de PL usando o Excel e o suplemento Solver, podemos começar a estudar a resolução de problemas de análise de eficiência relativa por DEA.

Começemos pelo exemplo mais simples:

Exemplo 1 - Um *input* e dois *outputs* – Modelo CCR *output*:

Os exemplos mais simples, como é o caso do que se segue, permitem uma resolução não só matemática, como também gráfica.

Consideremos os seguintes dados²⁹:

Tabela 6 - Dados do exemplo 1

DMUs	Input X	Output Y1	Output Y2	h_k
DMU1	1	2	6	
DMU2	1	4	5	
DMU3	1	5	3	
DMU4	1	6	2	
DMU5	1	3	4	

Podemos constatar que a DMU₅ é claramente ineficiente, uma vez que comparando com a DMU₂, esta tem uma maior produção tanto do *output Y1* como do *output Y2*.

A diferença de eficiência, em DEA, é igual á distância da DMU5, em linha recta, á fronteira de eficiência.

²⁸ *Slack* ou folga.

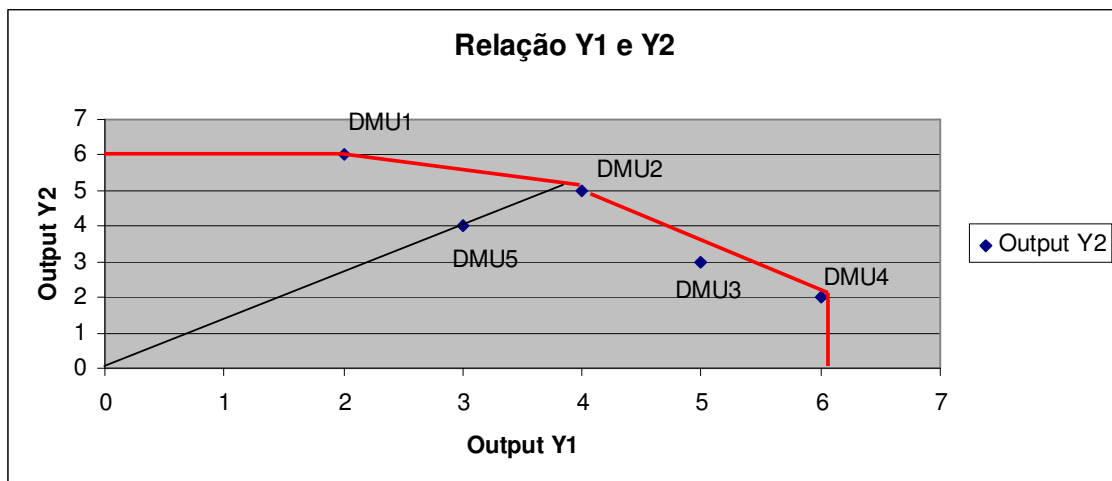


Figura 17 - Relação entre os outputs Y1 e Y2 e a respectiva fronteira de eficiência

A resolução deste exemplo é exequível por programação linear (PL). Recorrendo ao Solver do Excel, é necessário resolver cinco problemas de PL. A eficiência de cada DMU é calculada, para um Modelo CCR - orientação *input*, encontrando os valores dos coeficientes v_1 e v_2 que maximizam o índice de eficiência. A formulação para a DMU₁, sendo homóloga para as restantes 4, é a seguinte:

$$\text{MAX } E_1 = (v_{11} \times Y_{11} + v_{21} \times Y_{21})$$

- V_{11} - peso do *output* 1 na DMU 1
- V_{21} - peso do *output* 2 na DMU 1
- Y_{11} - Valor do *output* 1 na DMU 1
- Y_{22} - Valor do *output* 2 na DMU 1

Sujeito a:

- $(v_{1i} \times Y_{1i} + v_{2i} \times Y_{2i}) \leq 1$, todas as eficiências têm de estar sujeitas a esta restrição, além da não negatividade dos pesos v_{1i} e v_{2i} ;
- Impondo $X=1$ (sendo este factor representativo do somatório dos valores dos *inputs* multiplicados pelos pesos, para cada DMU) como restrição;
- $v_{11} \times Y_{11} + v_{21} \times Y_{21} - X \leq 0$
- $v_{11} \times Y_{12} + v_{21} \times Y_{22} - X \leq 0$
- $v_{11} \times Y_{13} + v_{21} \times Y_{23} - X \leq 0$
- $v_{11} \times Y_{14} + v_{21} \times Y_{24} - X \leq 0$
- $v_{11} \times Y_{15} + v_{21} \times Y_{25} - X \leq 0$
- $v_{11}, v_{21} \geq 0$

A tabela seguinte mostra a introdução dos dados do problema de análise de eficiência para a DMU1 no Excel.

Tabela 7 - Modelação da DMU1 em Solver

Modelo Solver para a DMU1					
Função Objectivo $h_1 =$		Max $v_{11} \cdot Y_{11} + V_{21} \cdot Y_{21}$			
Variáveis		V11	V21		
h_1		0.05	0.15		
Restrições		1			
Nº	LHS	RHS			
1	$V_{11} \geq$	0			
2	$V_{21} \geq$	0			
	Y1	Y2	LHS	RHS	
3	2	6	-1.1E-16	0	
4	4	5	-0.05	0	
5	5	3	-0.3	0	
6	6	2	-0.4	0	
7	3	4	-0.25	0	
8	$X = 1$				

A Figura 18 seguinte mostra a parametrização dos dados para análise de eficiência para a DMU1, no Solver.



Figura 18 - Parametrização da DMU1 no Solver

Repetindo estes cálculos para as DMUs 2, 3, 4 e 5, encontramos os índices de eficiência relativa para todas as DMUs.

A solução final é resumida na tabela seguinte.

Tabela 8 - Resumo dos resultados de eficiência relativa das 5 DMUs do exemplo 1

DMUs	Input X	Output Y1	Output Y2	h_k
DMU1	1	2	6	1
DMU2	1	4	5	1
DMU3	1	5	3	0.954545
DMU4	1	6	2	1
DMU5	1	3	4	0.785714

Podemos ver que as DMUs 3 e 5 apresentam valores de índice de eficiência relativa, inferiores a 1, podendo por isso ser consideradas ineficientes no conjunto de DMUs e de *inputs* e *outputs* considerado. Este resultado ajusta-se á resolução gráfica vista no início deste exemplo.

Na solução pelo Solver podemos, como já vimos, requerer um conjunto de três relatórios, Relatório de resposta, Relatório de Limites e o Relatório de Sensibilidade. Este último é particularmente importante para as DMUs ineficientes, uma vez que dá “soluções” para que a DMU ineficiente aumente o seu resultado de eficiência relativa. Vejamos o exemplo da DMU5, com um score de 78,57%, ou melhor, 0.7857, obtemos o seguinte Relatório de Sensibilidade.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Microsoft Excel 11.0 Relatório de sensibilidade							
2	Folha de cálculo: [exemplos DEA.xls]1X2Y							
3	Relatório gerado: 01-12-2008 20:40:14							
4								
5								
6	Células ajustáveis							
7				Final	Reduzido	Objectivo	Permissível	Permissível
8		Célula	Nome	Valor	Custo	Coeficiente	Aumentar	Diminuir
9		\$AJ\$15	V12	0.071428571	0	3	0.2	1.666666667
10		\$AK\$15	V22	0.142857143	0	4	5	0.25
11								
12	Restrições							
13				Final	Sombra	Restrição	Permissível	Permissível
14		Célula	Nome	Valor	Preço	Lado direito	Aumentar	Diminuir
15		\$AL\$23	LHS	0	0.071428571	0	0.2	0.181818182
16		\$AL\$24	LHS	0	0.714285714	0	0.125	0.166666667
17		\$AL\$25	LHS	-0.214285714	0	0	1E+30	0.214285714
18		\$AL\$26	LHS	-0.285714286	0	0	1E+30	0.285714286
19		\$AL\$27	LHS	-0.214285714	0	0	1E+30	0.214285714
20								

Figura 19 - Relatório de Sensibilidade da DMU5

Vamos centrar a nossa atenção no indicador Sombra - Preço. O Sombra - preço indica a quantidade pela qual a função – objectivo altera dado um incremento de uma unidade na constante da restrição, assumindo que todos os outros coeficientes permanecem constantes

Lachtermacher, 2005). Só a DMU1 e DMU2, permitem que sejam alterados os valores dos seus *outputs*, transformando essas variações em aumentos na função objectivo, assim uma DMU ineficiente pode ser comparada com uma DMU eficiente que apresente um valor de Sombra – Preço, diferente de zero. Neste caso, vamos comparar a DMU5 com a DMU2 (que tem o maior valor de Sombra – preço, das duas DMUs eficientes em análise).

A tabela seguinte resume a progressão desejada para a DMU5, usando a DMU2 como referência.

Tabela 9 - Melhoria do resultado de eficiência da DMU5, usando a DMU2 como referência

DMUs	input X	Output Y1	Output Y2	h_k
DMU2	1	4	5	1
DMU5	1	3	4	0,7857
Diferença	0	1	1	
%	0	25.00%	20.00%	

O quadro mostra que a DMU5 para passar a ter um *score* de eficiência relativa de 1, mantendo os seus *inputs*, teria de aumentar em 25% o seu *output 1* e 20% o *output 2*.

A resolução deste exemplo foi feita usando o suplemento Solver do Excel, mas existem inúmeros outros *softwares* aos quais se pode recorrer, na tentativa de resolver, pelo método DEA, o exemplo referido. Como para resolver um exercício de DEA com o Solver, é necessário dominar essa ferramenta, vamos mostrar como se pode complementar a análise DEA feita com o Solver, recorrendo a outros *softwares*. Os principais objectivos desta segunda análise são:

1. Comparar os resultados, dos índices de eficiência relativa, obtidos com o Solver e um outro *software*, aferindo assim se os resultados estão correctos. Procura-se validar o modelo estabelecido em Solver, utilizando uma modelação já reconhecida. Desta forma podemos identificar possíveis erros de modelação e resultados menos conforme.
2. Obter mais respostas do que aquelas que o Solver nos pode devolver após resolução.
3. Demonstrar a vantagem em termos de consumo de um recurso importante, o tempo, que apresenta a utilização de um *software* criado para resolver especificamente problemas de análise de eficiência por DEA.

Mais á frente neste relatório, foi discutida a criação das ferramentas informáticas e quais as vantagens de cada um dos *softwares* criados para resolver problemas por DEA, mais concretamente no ponto 3.5.

Para validar e aprofundar os resultados obtidos neste exemplo, vamos utilizar o xIDEA.xls, um suplemento do Excel, que com um *interface* gráfico muito apelativo e uma facilidade de uso e compreensão, permite obter os resultados esperados, com rapidez e acuidade. Para usar o xIDEA.xls, basta fazer o *download* de uma versão *trial*, depois em carregar em Ferramentas-Suplementos-xIDEA.xls e fazer *launch* do suplemento.

O xIDEA.xls computa os dados em três passos:

1. Identificação dos *inputs* (em que o xIDEA, pede para identificar e seleccionar a(s) coluna(s) dos *input(s)*)

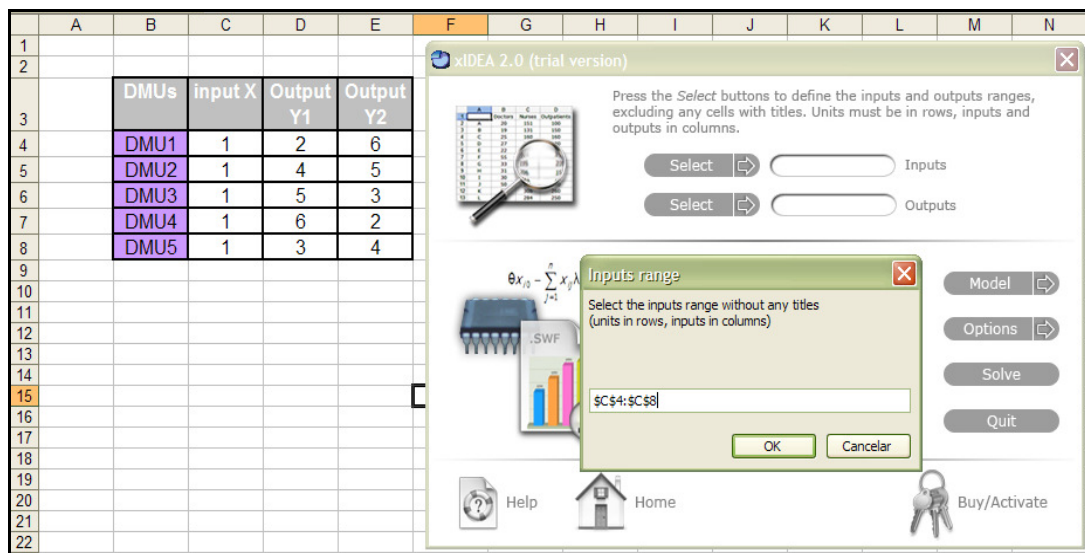


Figura 20 - Selecção dos *inputs* no xIDEA.xls

2. Identificação dos *outputs* (em que o xIDEA, pede para identificar e seleccionar a(s) coluna(s) dos *output(s)*)

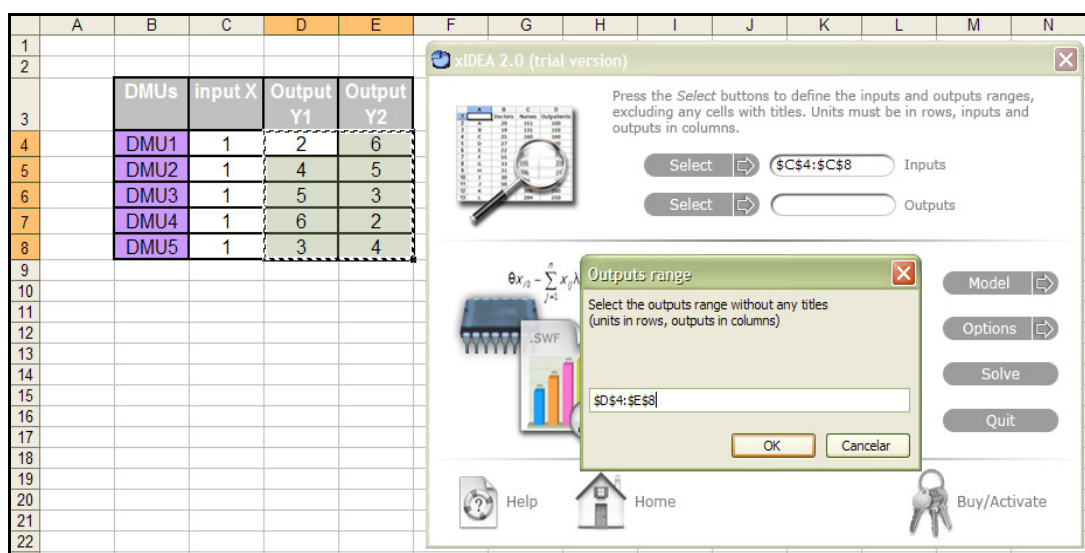


Figura 21 - Selecção dos *outputs* no xIDEA.xls

3. São definidos, tanto o modelo, neste caso CCR, bem como a orientação, neste caso *input*.

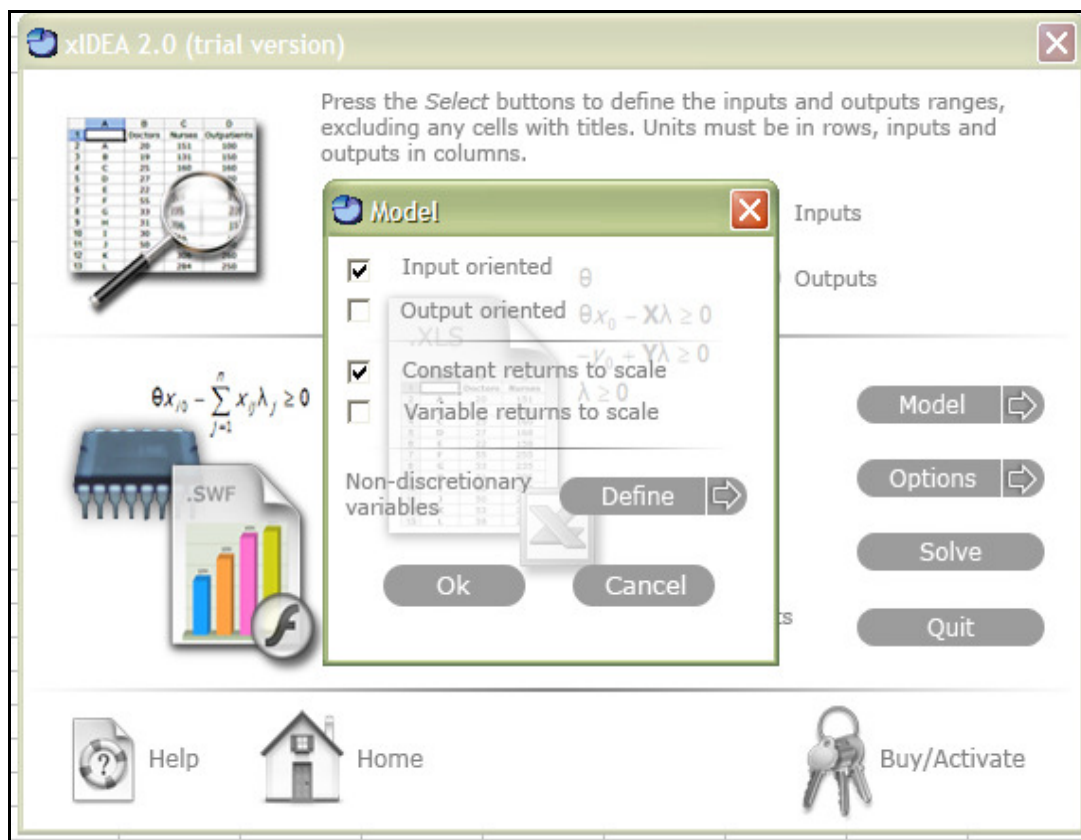


Figura 22 - Selecção do modelo e orientação do modelo no xIDEA.xls

Depois de definidos estes três factores e dando a ordem ao *software* para resolver (*solve*), obtemos a seguinte informação, ilustrada na Figura abaixo, onde podemos ver a lista de resultados.

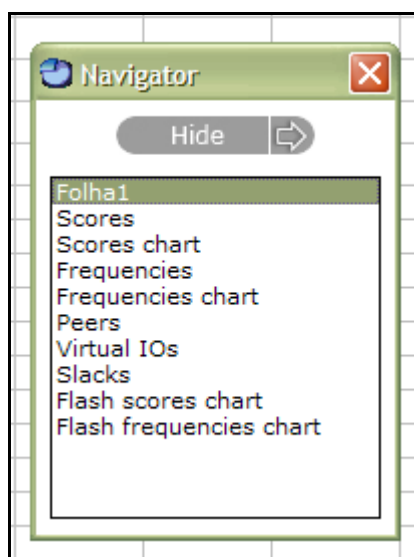


Figura 23 - Navigator- menu de respostas do xIDEA.xls

O xIDEA.xls devolve as seguintes respostas:

1. Folha 1: folha de cálculo do Excel onde estavam os dados iniciais;
2. Índices: são efectivamente os índices de eficiência obtidos para cada DMU.

	A	B	C
1	Efficiency scores		
2	DMU1	1.0000	
3	DMU2	1.0000	
4	DMU3	0.9545	
5	DMU4	1.0000	
6	DMU5	0.7857	
7			
8			
9			
10			

Figura 24 - Folha de índices do xIDEA.xls

Tabela 10 - Tabela dos resultados obtidos pelos xIDEA.xls

DMUs	Input X	Output Y1	Output Y2	h_k
DMU1	1	2	6	1
DMU2	1	4	5	1
DMU3	1	5	3	0.954545
DMU4	1	6	2	1
DMU5	1	3	4	0.785714

Podemos comparar estes resultados obtidos pelo xIDEA.xls e os resultados de eficiência relativa obtido pela modelação do problema em Solver.

Os resultados obtidos pelo xIDEA.xls validam os resultados anteriormente obtidos, sendo os valores iguais nas duas resoluções, para cada DMU.

3. *Score Chart*: uma resposta mais gráfica do xIDEA.xls, que agrupa os resultados de eficiência para cada DMU, num gráfico de barras, em que no eixo das abcissas apresentam-se as DMUs e no eixo das ordenadas, a escala de valores dos índices de eficiência.

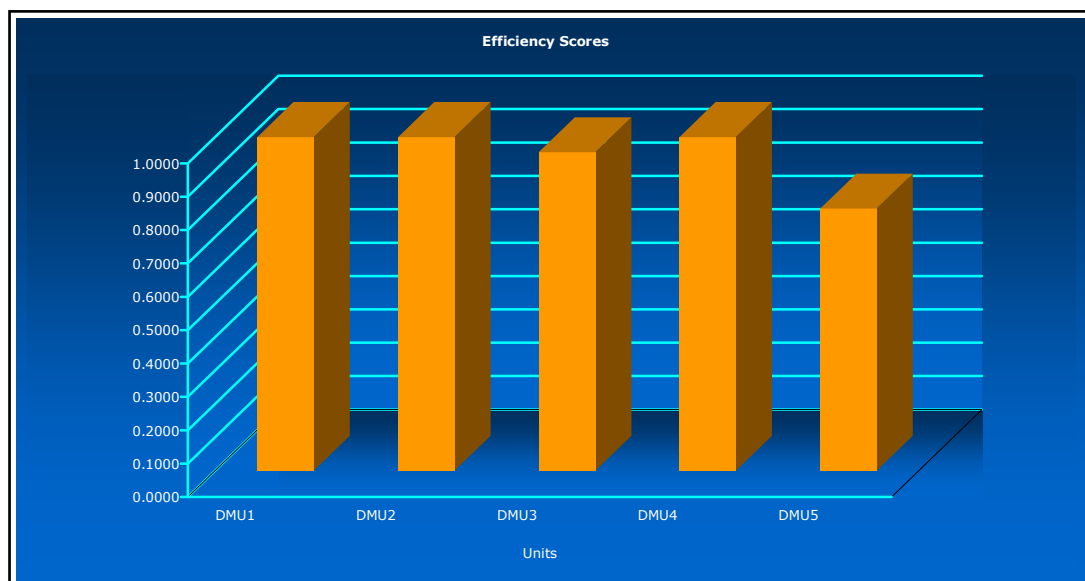


Figura 25 - Gráfico de índices de eficiência das DMUs obtido pelo xIDEA.xls

4. *Score frequencies*: devolve-nos o resultado das frequências observadas, para intervalos de 0,10 em 0,10. Podemos observar uma frequência observada de 1 no intervalo entre 0,7 e 0,8 e de 4 para o intervalo 0,9 e 1,0.

	A	B
1	Score frequencies	
2	up to 0.10	0
3	0.10+ to 0.20	0
4	0.20+ to 0.30	0
5	0.30+ to 0.40	0
6	0.40+ to 0.50	0
7	0.50+ to 0.60	0
8	0.60+ to 0.70	0
9	0.70+ to 0.80	1
10	0.80+ to 0.90	0
11	0.90+ to 1.00	4

Figura 26 - *Score frequencies* obtido pelo xIDEA.xls

5. *Frequencies charts*: Agrupa os dados anteriores de uma forma gráfica, sob a forma de um gráfico de barras:

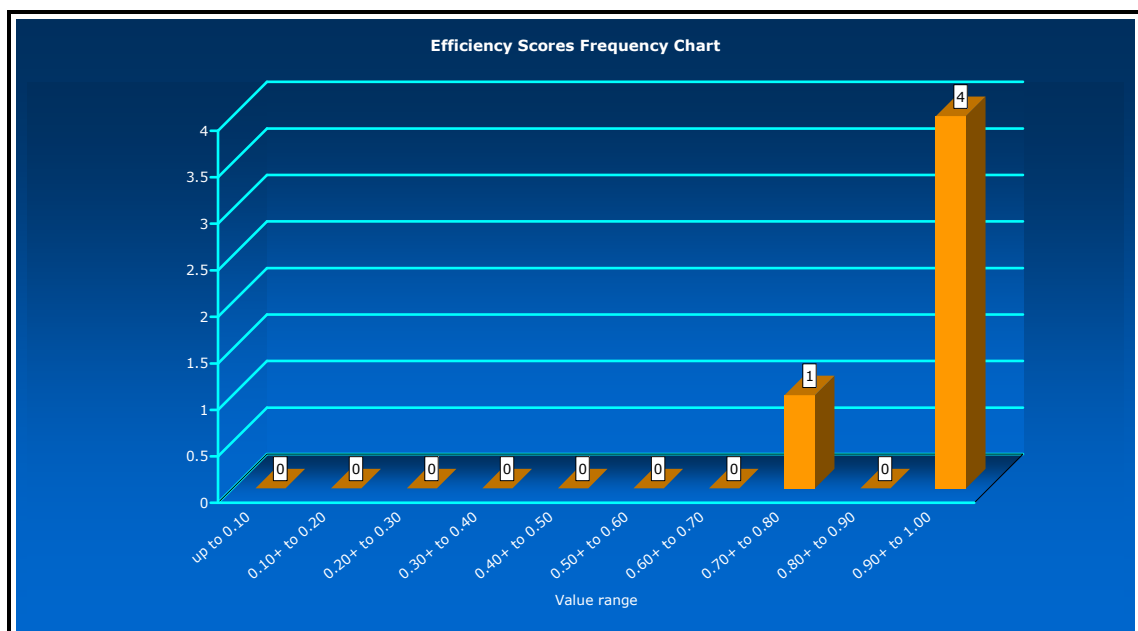


Figura 27 - *Frequencies chart* do xIDEA.xls

6. *Peers*: A capacidade de transformar uma DMU ineficiente numa DMU eficiente, não é mais do que criar uma DMU virtual, a partir da combinação “pesada” de DMUs eficientes. Para cada DMU, o conjunto de unidades eficientes, possíveis de serem conjugadas, para tornar uma DMU ineficiente em DMU eficiente, chama-se o conjunto de referência ou o conjunto de unidades pares (*peers*). A folha de *peers* contém informação sobre as unidades eficientes pares para cada DMU e os pesos relevantes, os valores de lambda (λ e u no exemplo). Neste caso a DMU 5, por

exemplo, deveria ser, aproximadamente, 7,14% da DMU1 e 0,7143 da DMU2, sendo estes resultados mais correctamente expressos da seguinte forma, a DMU5 deve adoptar as melhores práticas da DMU1 e DMU2, de forma a melhorar o seu resultado de eficiência. Para os modelos com VRS, a soma dos pesos para cada DMU tem de dar 1,0.

	A	B	C	D
1	Efficient peers and weights			
2		DMU1	DMU2	DMU4
3	DMU1	1.0000		
4	DMU2		1.0000	
5	DMU3		0.3636	0.5909
6	DMU4			1.0000
7	DMU5	0.0714	0.7143	

Figura 28 - Peers do xIDEA.xls

7. *Virtual outputs and inputs*: depois de identificadas as unidades pares das DMUs ineficientes, podemos calcular o valor dos *inputs* e dos *outputs* virtuais que optimizam o *score* de eficiência.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Virtual inputs/ outputs						
2		input X		Output Y1		Output Y2	
3	DMU1	1.00	0.00%	2.00	0.00%	6.00	0.00%
4	DMU2	1.00	0.00%	4.00	0.00%	5.00	0.00%
5	DMU3	0.95	4.55%	5.00	0.00%	3.00	0.00%
6	DMU4	1.00	0.00%	6.00	0.00%	2.00	0.00%
7	DMU5	0.79	21.43%	3.00	0.00%	4.00	0.00%

Figura 29 - Virtual inputs and outputs do xIDEA.xls

Note-se que cada DMU eficiente, só apresenta uma unidade par, ela própria, com peso 1.

Esta folha mostra o potencial de melhoria para todas as DMUs. A primeira coluna em cada *input/output* contém o valor alvo e a segunda coluna mostra a percentagem correspondente de aumento ou diminuição. O nome do factor a mudar, aparece em cima no início da coluna. Os *inputs* e *outputs* virtuais são calculados pelos *inputs/outputs* das unidades pares multiplicados pelos pesos respectivos. Neste caso, com um só valor a ser alterado, tanto para a DMU3 como para a DMU5, já estão patentes os valores alvo do *input X*, para DMU3 o *input X*, deveria diminuir 4,55%, de 1 para 0,95 e na DMU5 o *input X*, deveria diminuir 21,43%, de 1 para 0,79.

8. *Slacks*: a folga representa o valor que pode variar o *input* virtual de forma a manter o resultado óptimo de eficiência.

Neste caso, obtemos o conjunto de folgas abaixo representado, todos com valor zero, ou seja, o valor do *input* virtual tem de ser exactamente o que foi devolvido pelo xIDEA.xls, sem possibilidade de variação.

	A	B	C	D
1	Input/ output slacks			
2		input X	Output Y1	Output Y2
3	DMU1	0.00	0.00	0.00
4	DMU2	0.00	0.00	0.00
5	DMU3	0.00	0.00	0.00
6	DMU4	0.00	0.00	0.00
7	DMU5	0.00	0.00	0.00
8				

Figura 30 - Slacks do xIDEA.xls

9. *Flash frequencies charts*: o xIDEA.xls apresenta uma opção de gráficos em *Flash*, com animação, mas que tem uma aplicação meramente computacional, não sendo possível transpor para formato de papel.

Como se pode verificar na Tabela 7, os resultados obtidos pela modelação do exemplo no SOLVER.xls e no xIDEA.xls, são idênticos.

Tabela 11 - Comparação dos resultados obtidos pelo SOLVER.xls e pelo xIDEA.xls

DMUs	SOLVER h_k	xIDEA h_k
DMU1	1	1
DMU2	1	1
DMU3	0.954545	0.95455
DMU4	1	1
DMU5	0.785714	0.78571

A utilização do xIDEA.xls permitiu validar os resultados obtidos anteriormente alcançados pela modelação do problema com o Solver e forneceu mais respostas, particularmente, em termos de unidades pares e de valores virtuais de *inputs* e *outputs* a alcançar para aumentar os índices de eficiências das DMUs ineficientes.

Neste exemplo, trabalhamos o exemplo num modelo CCR-*output*, tanto em Solver como em xIDEA.xls, mas a mudança de modelo e de orientação, implicam mudanças de formulação, tanto no Solver como em xIDEA.xls.

Exemplo 2- Dois *inputs* e três *outputs* - Modelo CCR *input*

Consideremos um novo exemplo, com dois *inputs* e três *outputs*.

Tabela 12 - Dados do exemplo com 2 inputs e 1 output

DMUs	input X1	Input X2	Output Y1
DMU1	2	3	1
DMU2	4	1	1
DMU3	2	2	1
DMU4	1	4	1

Mais uma vez como estamos perante um caso bastante simples, podemos recorrer a uma resolução gráfica, como podemos ver no gráfico seguinte. Neste caso como o objectivo é a minimização dos *inputs*, as DMUS ineficientes apresentam-se acima da linha da fronteira eficiente definida pela união das DMUs eficientes.

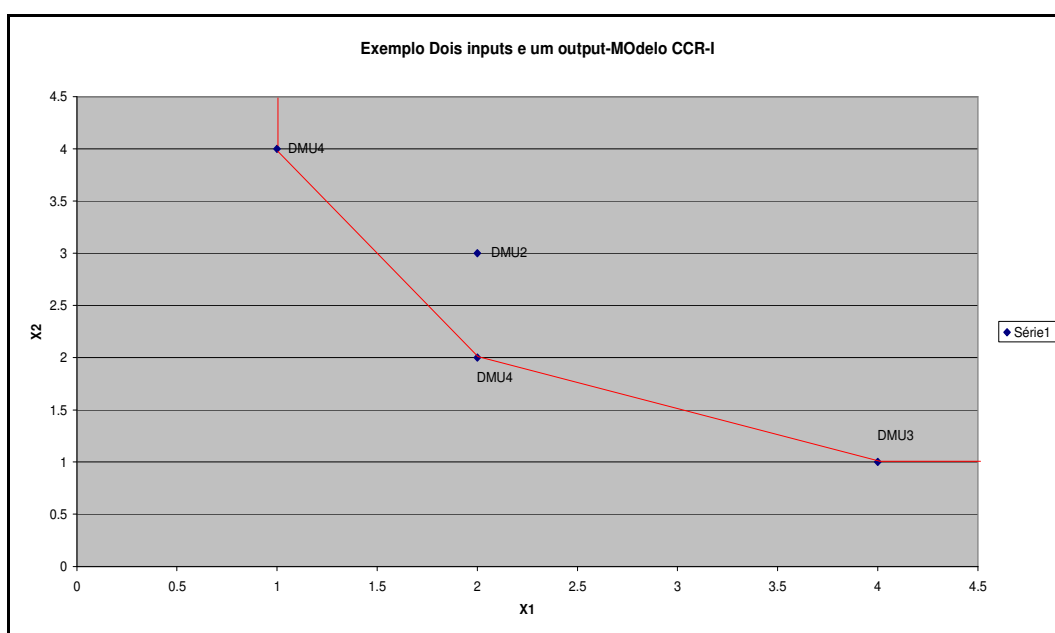


Figura 31 - Fronteira eficiente do exemplo com 2 *inputs* e 1 *output*

A modelação em Solver requer a imputação das seguintes equações:

Função Objectivo: **Min $U_{1i} \times X_{1i} + U_{2i} \times X_{2i}$**

Sujeita a :

1- $v_{1i} \times Y_{1i} = 1$, para a DMU em análise

2- $U_{1i} \times X_{1i} + U_{2i} \times X_{2i} \leq 0$, Para todas as DMUs

3- $U_{1i}, U_{2i}, v_{1i} \geq 0$

Para o caso da DMU1, temos a seguinte formulação em Excel.

Tabela 13 - Formulação da DMU1 em Excel no exemplo 2

Modelo Solver para a DMU1						
Função Objectivo $h_1 =$		Minimizar $u_{i1} \times X_{1i} + u_{2i} \times X_{2i}$				
Variáveis		U11	U21	v11		
		0.666667	0.833334	1.000001		
Z=		3.833337				
h_k		0.26087				
Restrições						
Nº		LHS	RHS			
1	$V_{11} \geq$		0			
2	$U_{11} \geq$		0			
3	$U_{21} \geq$		0			
4. pesos x inputs da DMU1=1		1.00000	1			
		X1	X2	Y1	LHS	RHS
5		2	3	1	-2.83334	0
6		4	1	2	-1.5	0
7		2	2	3	0	0
8		1	4	4	0	0

Mais uma vez, efectuando a análise de eficiência recorrendo ao Solver obtemos a seguinte modelação.

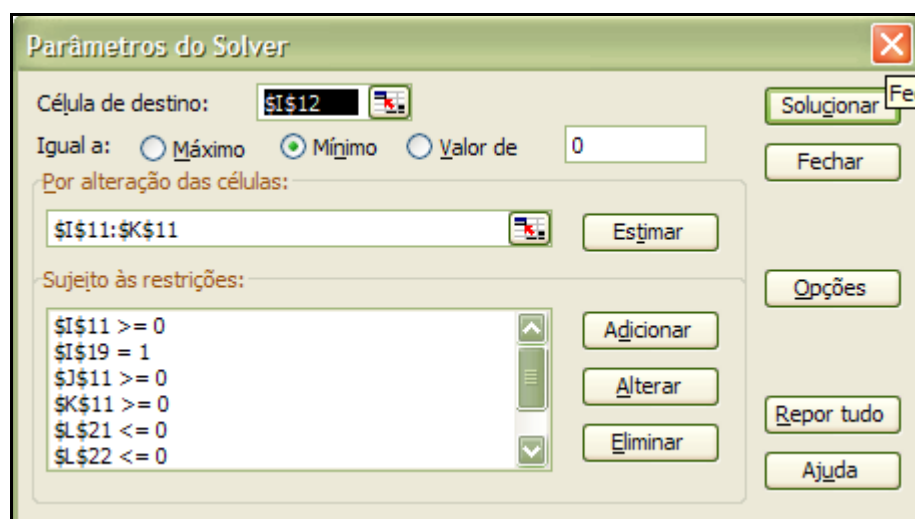


Figura 32 - Modelação em Solver da DMU no exemplo 2X1Y

A maior diferença que podemos encontrar para o modelo do exemplo anterior é justamente na célula de destino, que neste caso passa a ser minimizada.

Usando o xIDEA.xls, para confirmar este valor, podemos observar que o valor obtido pelo Solver e pelo xIDEA são iguais, validando assim os resultados obtidos.

	A	B	C
1	Efficiency scores		
2	DMU1	0.2609	
3	DMU2	1.0000	
4	DMU3	1.0000	
5	DMU4	1.0000	
6			

Figura 33 - Quadro dos resultados

Exemplo 3 – Dois *inputs* e um *output* - Modelo BCC *input*

Este exemplo é uma adaptação de um exemplo presente no trabalho de *Kutvonen* (Kutvonen, 2004), sendo este já uma adaptação de um trabalho de *Cooper et al* (Cooper et al, 2006). Este problema foi analisado em DEA-SAED v1.0.

Considerem-se 9 diferentes lojas de um mesmo grupo, com dois *inputs* a considerar, Número de empregados (x1) e Área da loja (x2), e um único *output*, Vendas (y1). A tabela seguinte resume os dados.

Tabela 14 - Dados do problema do exemplo 3

Loja/DMU	Inputs X		Outputs Y Vendas y1
	Empregados (10) x1	Área da loja (1000m ²) x2	
DMU1	8	6	2
DMU2	19	9	3
DMU3	8	1	1
DMU4	16	8	4
DMU5	10	20	5
DMU6	10	4	2
DMU7	18	12	3
DMU8	22	10	4
DMU9	18	8	3

Estes dados foram da seguinte forma introduzidos no DEA-SAED v1.0.

DEA: DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Arquivo Editar Eficiência Índice de Malmquist Ajuda

DADOS DEA: C:\Programas\DEA-SAED\exemplo lojas.dea

Núm. de DMU'S Núm. de INSUMOS Núm. de PRODUTOS Descrição:

DMU\O	INS2	INS2	Y1
DMU1	8	6	2
DMU2	18	9	3
DMU3	8	1	1
DMU4	16	8	4
DMU5	10	20	5
DMU6	10	4	2
DMU7	18	12	3
DMU8	22	10	4
DMU9	18	8	3

Figura 34 - Apresentação dos dados em DEA-SAED v1.0

Para obter os indicadores de eficiência relativa, foi corrido um modelo de medidas radiais, orientação *input*, modelo BCC- VRS. Os resultados obtidos foram os seguintes.

DEA: DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Arquivo Editar Eficiência Índice de Malmquist Ajuda

DADOS DEA: C:\Programas\DEA-SAED\exemplo lojas.dea

Núm. de DMU'S Núm. de INSUMOS Núm. de PRODUTOS Descrição:

MODELO: RADIAL-INSUMO-RVE : tempo: 0.891 seg.

DMU\O	INS2	INS2	Y1	θ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
DMU1	8	6	2	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU2	18	9	3	0.704	0.25	0.0	0.167	0.583	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU3	8	1	1	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU4	16	8	4	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU5	10	20	5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU6	10	4	2	1.0	0.25	0.0	0.5	0.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU7	18	12	3	0.635	0.528	0.0	0.0	0.415	0.057	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU8	22	10	4	0.8	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMU9	18	8	3	0.731	0.0	0.0	0.154	0.577	0.0	0.269	0.0	0.0	0.0

Figura 35 - Resultados do problema exemplo obtido em DEA-SAED v1.0

As lojas/DMUs 1, 3, 4, 5 e 6 apresentam valores de θ (índice de eficiência) igual a 1, pelo que são consideradas neste grupo como sendo as eficientes, ou seja, aquelas que fazem uma alocação mais eficiente de recursos. As DMUs são assim organizadas em termos de ranking.

DEA: DATA ENVELOPMENT ANALYSIS		
Arquivo Editar Eficiência Índice de Malmquist Ajuda		
DADOS DEA: C:\Programas\DEA-SAED\exemplo lojas.dea		
Núm. de DMU'S	Núm. de INSUMOS	Núm. de PRODUTOS
9	2	1
Ordenamento das DMUs		
ORDEM	DMU	SCORE
1	DMU4	1.00000
1	DMU3	1.00000
1	DMU1	1.00000
1	DMU5	1.00000
1	DMU6	1.00000
2	DMU8	0.80000
3	DMU9	0.73077
4	DMU2	0.70370
5	DMU7	0.63522

Figura 36 - Ranking das DMUs obtido no DEA-SAED v1.0

Neste *software* não há possibilidade de calcular a medida de supereficiência, fazendo o desempate das DMUs eficientes.³⁰

Este ranking pode ser traduzido no seguinte gráfico, também elaborado pelo DEA-SAED v1.0.

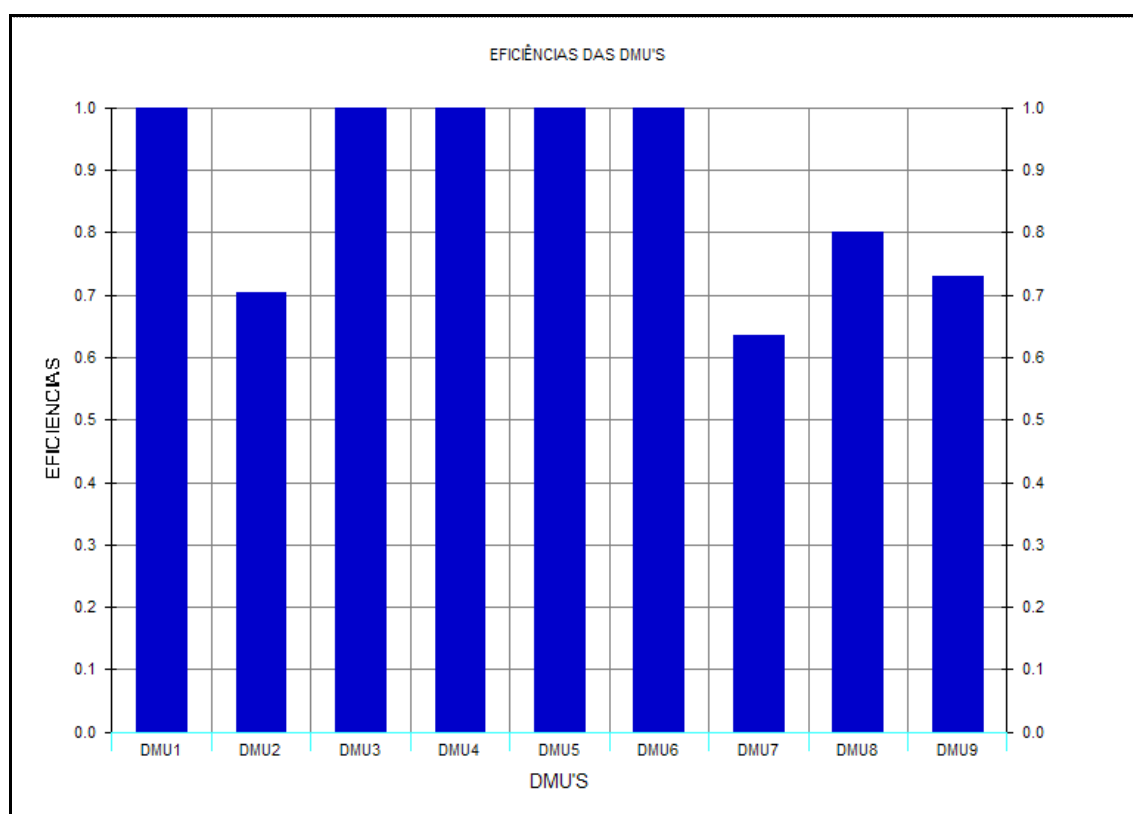


Figura 37 - Resultados de eficiência relativa de cada DMU

Este exemplo ajuda-nos assim a sistematizar a ferramenta DEA.

³⁰ Este *software* apresenta algumas limitações, mas dada a natureza do problema e o objectivo deste exemplo, mostrou ser uma boa forma de resolver o problema em questão.

Podemos assim resumir os objectivos principais da DEA da seguinte forma:

1. Estabelecer as melhores práticas: neste caso as DMUs 1,3,4, 5 e 6 conseguem produzir mais com menos recursos, há que perceber porquê e reproduzir o processo produtivo nas DMUs ineficientes.
2. Reconhecimento da ineficiência: identificar as DMUs menos produtivas face às mais produtivas. O objectivo não é produzir x com uma quantidade ilimitada de recursos, o objectivo é como produzir x , reduzindo ao máximo os consumos.
3. Identificar o excesso de recursos utilizados.
4. Calcular a capacidade de melhoria da utilização de recursos, de forma a tornar uma DMU ineficiente, em DMU eficiente.

Com a resolução destes exemplos procurou-se apresentar, de uma forma breve, alguns pontos que são importantes na resolução de medições de eficiência relativa através da DEA. A resolução de problemas recorrendo ao SOLVER.xls, apresenta algumas dificuldades, logo á partida, é necessário ter alguns conhecimentos avançados de Programação Linear, assim como de modelação de problemas recorrendo a Programação Linear. Daqui podemos aferir, que para problemas com muitas DMUs e com muitas restrições aumenta o grau de dificuldade na modelação. Desta forma, para o terceiro exemplo, já não foi efectuada uma resolução através do SOLVER.xls, uma vez que o próprio modelo apresenta especificações na modelação que podem induzir a resoluções não correctas.

Para problemas mais complexos, não é aconselhável a resolução através da modelação no SOLVER.xls, mas sim num dos inúmeros *softwares* que estão á disposição dos utilizadores, investigadores e curiosos em geral. No subcapítulo 3.5 serão apresentados alguns *softwares* e serão exploradas algumas das suas características, podendo ser um guia para a selecção do *software* mais adequado para cada caso.

3.4 Definição taxonómica de problemas em DEA

O estudo apresentado por *Gatouffi* (Gattoufi & Reisman, 2002), serve não só como resumo e assim sendo, como uma visão global dos problemas que podem ser estudados pela DEA, mas como o próprio indica, pode ser uma forma de analisar os trabalhos já publicados e assim identificar quais as áreas mais estudadas e quais as áreas mais negligenciadas pelos estudiosos. Torna-se assim uma ferramenta útil, não só para uniformizar a caracterização dos trabalhos, como também para estruturar a informação sobre o que já foi publicado.

Na realização deste estudo, o trabalho de Gattoufi (Gattoufi & Reisman, 2002) esquematizado a seguir, serviu como guia, apontando não só as diferentes áreas de estudo, mas também como explorá-las, como obter os dados, como definir o tipo de trabalho, etc.

Como diz *Gattoufi*, “uma taxonomia não é só uma ferramenta para armazenar, de uma forma eficiente e eficaz, conhecimentos, é também uma forma organizada de apontar para a expansão do conhecimento”. Um dos maiores e melhores exemplos desta tentativa de sistematização de conhecimento, é a obra de Lineu de 1735³¹, “*Sistema naturae*”, onde o autor procura organizar uma classificação, por níveis, de todas as “coisas” vivas.

Na obra de Seiford (Seiford, 1996), Gattoufi, encontrou a pertinência para o seu estudo sobre a taxonomia em DEA. Voltando um pouco á discussão do ponto 3.2 deste relatório, *Seiford* é apontado como tendo identificado o estado de arte (SOA)³² (Seiford, 1996), pelos anos de 1980, 1985, 1990, 1995. Sendo que de 1995, onde identificou cerca de 700 publicações, para Agosto de 2001, onde identificou cerca de 1800, *Seiford* atesta um crescimento de mais de 150%, nas obras publicadas sobre o tema DEA. Esta quantidade de publicações, já justifica, no entender de *Gattoufi*, uma sistematização da informação, de forma a poder organizar sobre uma mesma “capa”, todos os trabalhos publicados e assim permite um melhor e mais eficaz acesso á informação. “Devido á natureza multidisciplinar dos estudos, torna-se necessário organizar uma única fonte de referência do largo espectro de obras publicadas” afirma *Seiford*.

Mais uma vez *Gattoufi* recorre a outros autores, neste caso *Reisman*, para justificar a criação deste sistema de classificação. No seu trabalho, *Reisman* (Reisman, 2001)], refere, a forma simbólica e/ou gráfica, de identificar as semelhanças e diferenças entre publicações, como sendo uma das grandes vantagens da sistematização da informação. Permite criar uma base de trabalho comum, onde novas contribuições vão ser acrescentadas ou modificadas, de uma forma mais eficaz e eficiente. Permite, com uma vista de topo, identificar as falhas, em termos de áreas de estudo, como já referimos anteriormente. Esta forma de apresentar o conhecimento, é tida como sendo não só positiva, para todos aqueles que investigam usando esta ferramenta, como também facilita a introdução de novos investigadores e/ou objectos de estudo.

Contudo uma ressalva deve ser feita, como *Thrall* (Seiford & Thrall, 1990) indica, por vez a identificação dos modelos DEA pode ser difícil de efectuar. Assim ele defendia uma tripla dicotomia na sistematização. *Gattoufi* dá um passo em frente e no seu trabalho não pode ser acusado de ambiguidade, embora o excesso de informação e de detalhe, por vez possa acrescentar alguma dificuldade na definição taxonómica dos problemas e casos de estudo.

Sendo assim, *Gattoufi* criou um sistema que pode ser resumido na sigla DEAN. Este sistema vectorial, arborescente, como atesta a Figura seguinte, que é ideal para um

³¹ Informação contida no site <http://www.answers.com/topic/carolus-linnaeus>. Consultado em 2008.

³² Do inglês state of art.

crescimento contínuo, em que novas contribuições, ou ramos, são novos braços que são facilmente acrescentados à árvore original.

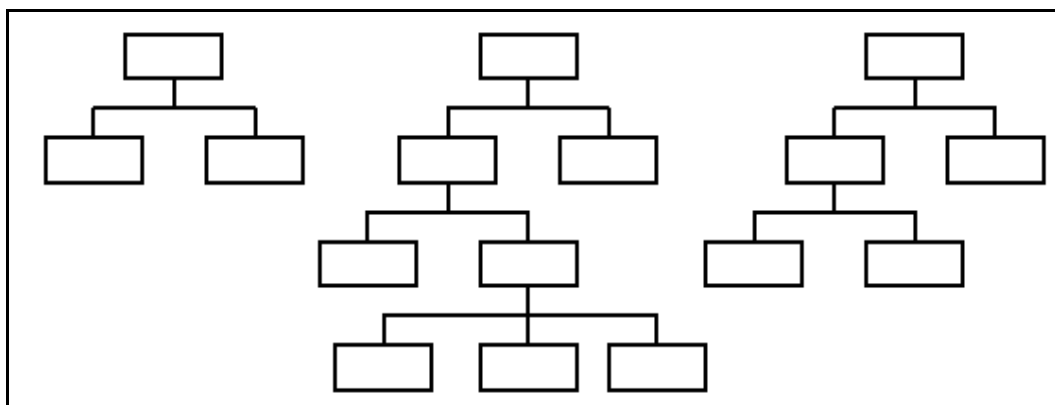


Figura 38 - Taxonomia baseada em descrição por vetores

Fonte: Gattoufi (Gattoufi & Reisman, 2002).

Quanto à definição mais técnica da taxonomia, esta divide-se em 16 grupos que estão, por sua vez, agrupados em 4 classes.

As Tabelas seguintes resumem, cada uma das quatro categorias.

Tabela 15 - As 4 classes que compõem a sistematização taxonómica de Gattoufi

Classe 1 - <i>Data</i>	Classe 2 - <i>Envelopment</i>
Esta classe subdivide-se em dois domínios, o primeiro que descreve a fonte dos dados utilizados e o segundo que descreve o grau de imprecisão dos dados, se existir.	Aqui a divisão é feita em seis domínios diferentes caracterizando, a fronteira, o modelo matemático utilizado para o envolvimento de dados e a natureza das medições facultadas pela análise.

Fonte: Adaptação de *Gattoufi* (Gattoufi & Reisman, 2002).

Tabela 16 - As 4 classes que compõem a sistematização taxonómica de Gattoufi (continuação)

Classe 3 - <i>Analysis</i>	Classe 4 - Natureza do estudo e a método que utiliza
Também dividida em seis grupos, esta classe opera na identificação das diferentes opções na análise relacionada com a amostra ou com o modelo.	Aqui os trabalhos são divididos em puramente teóricos ou hipotéticos, não baseados em dados reais ou aplicações desenvolvidas, para problemas reais ou de dados simulados. Os estudos podem ser igualmente desenvolvidos teoricamente, com validação empírica dos dados usando dados reais ou simulados. A metodologia indica se o estudo usa uma abordagem pura de DEA ou combina DEA com outras metodologias.

No final *Gattoufi*, apresentam uma proposta de como estruturar toda esta informação. Na Figura seguinte, os espaços em branco, preenchem-se com o tipo mais adequado ao caso de estudo, ou seja o número correspondente da lista que se pode consultar em anexo.

(.../...):(…/…/…/…/…/…/…/…):(…/…/…/…/…/…/…/…):(…/…)			
Dados	Envoltória	Análise	Natureza/método

Figura 39 - Proposta de apresentação da definição taxonómica em DEA, de casos de estudo
 Fonte: adaptação de *Gattoufi* (Gattoufi & Reisman, 2002).

No anexo A estão catalogadas todas estas categorias taxonómicas.

3.5 Aplicações informáticas para a aplicação da DEA

A evolução da técnica DEA e a sua propagação foi, em muito, influenciada pelos avanços tecnológicos, principalmente as evoluções computacionais. A melhoria dos modelos, a utilização de algoritmos e de linguagens matemáticas, favoreceu o desenvolvimento de *softwares*, que visavam resolver problemas usando a técnica DEA. Não só pela evolução da criação de *softwares* se deve o crescimento da técnica DEA, também as redes de conhecimento, as bases de dados digitais, a comunicação *on line* e todas as formas cibernéticas de comunicação favoreceram a troca de conhecimentos e permitiu que um número maior de estudiosos e interessados, pudessem ter acesso a esta ferramenta.

Neste subcapítulo vamos fazer uma abordagem, muito resumida, da evolução das linguagens de programação e dos *softwares* existentes. Este aspecto tem de ser convenientemente ressalvado, esta é apenas uma abordagem resumida, não procura ser uma abordagem incisiva e totalitária, uma vez que existem n *softwares* dos quais nem se tem conhecimento, ou porque foram desenvolvidos para um caso específico e não se podem utilizar noutros casos de estudo, porque são *softwares* de uso exclusivo de empresas e/ou centros de investigação, porque foram desenvolvidos para uma época específica e agora já estão obsoletos, um sem número de razões podem ser suficientes para explicar o porquê de esta ser apenas uma curta alusão a tudo o que pode existir no mundo das ferramentas informáticas para DEA.

Esta amostra de *softwares* e estudo da sua criação e evolução surge da necessidade que este caso de estudo criou. Era necessário que um *software* fosse capaz de analisar o problema, computasse os dados e fornece-se os dados necessários para a análise de eficiência do problema em causa. Os princípios de eficiência também aqui estão patentes, era necessário que face às expectativas, o programa utilizado fosse capaz de emitir os resultados devidos, mas ao mesmo tempo que o baixo uso de recursos fosse umas das condições essenciais. Assim podemos tentar hierarquizar as exigências que o *software* devia cumprir:

1. *Software* devia ser adquirido a custo zero. Uma vez que a oferta de programas já é significativa, não se justificava o investimento num equipamento de custo elevado, ou que implicasse o pagamento de licenças extra. Privilegiaram-se aqui todos os *softwares* que pudessem ser fornecidos pela Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa, numa tentativa de justificar investimentos anteriores.
2. *Softwares* que fossem capazes de analisar DMUs em número suficiente e com *inputs/outputs* em igualdade de circunstâncias.

3. Foram privilegiados os *softwares* que permitissem importação de ficheiros de diversos formatos (.doc, .xls, .pdf, etc) e que favoreçam a exportação de dados, para permitir a criação de formatos de apresentação e dados mais “*user friendly*”.

Com estas indicações foi possível prosseguir o estudo, ou melhor, o levantamento de programas que fossem capazes de responder a estas necessidades.

3.5.1 A evolução computacional e o surgir de ferramentas digitais para a resolução de problemas em DEA

A evolução das tecnologias informáticas ocorreu a vários níveis. Para o nosso estudo, vamos apontar alguns dos aspectos que mais podem ter influenciado o surgir de *Softwares* próprios para a resolução de problemas de análise de eficiência com DEA.

No seu trabalho, o professor *Morgunov* (Morgunov, 2005), desenvolve uma análise em 5 pontos, onde indica para cada dimensão um conjunto de hipóteses para desenvolver os *softwares*. Baseando um pouco da nossa análise nesse trabalho, podemos identificar logo de início um factor importante para o desenvolvimento de ferramentas digitais, a linguagem de programação em que são desenvolvidos.

As linguagens de programação matemática, sofreram grandes transformações ao longo da segunda metade do século XX, sendo particularmente sentidas, por exemplo, na criação de programas de modelação, 2D e 3D, onde as dificuldades crescentes de representação de elementos sólidos ou de superfícies, foram sendo ultrapassadas pela criação de linguagens de programação cada vez mais potentes e perfeitas.

Quando T. *Coelli* em 1996 desenvolveu o seu *software DEAP*, fê-lo em *Fortran*, o Prof. *Cooper* programou em Visual Basic, mas ambos podem ser lidos como ficheiros *Excel*. Actualmente existem várias linguagens de programação que podem ser utilizadas, MATLAB, C/C++ em conjunto com *Borland C++ Builder*, que permite visualização do que é programado, entre outros. Várias são as linguagens que podem ser utilizadas, umas mais fáceis, outras de aplicação mais complexa, mas sem dúvida que são hoje em dia, em maior número e mais capazes que no início da DEA em 1978. Mas a linguagem tem de seguir em paralelo com o Sistema operativo (SO) e aqui se o *Windows* é maioritário, existem sistemas como o Linux OS ou o UNIX, que se perfilam como mais capazes e melhor adaptados para a criação de programas. Dos sistemas dos micro computadores dos anos 50, até ao MS-DOS, a evolução e aparecimento de novos SO permitiu que várias fossem as soluções para os programadores.

Os programas de solução de problemas, sejam de fronteiras de eficiência estocásticas, de resolução por DEA, ou outros, necessitam de ter acesso a grandes sistemas gestão de

bases de dados (DBMS³³) e também aqui alcançaram-se grandes resultados. O facto de um usuário não ter de trabalhar com n pequenos ficheiros, torna-se uma mais valia, ganhando a nível de eficiência se operar em conjunto com um DBMS, especificamente em termos de fiabilidade de armazenamento de dados e capacidade de processamento. Vários são os DBMS não comerciais que surgiram, desde o *PostgreSQL* e *MySQL* e outros comerciais, como *Oracle*, *Microsoft SQL Server*, perdem pelos custos associados às suas licenças de utilização, sendo que ambos apresentam características e funcionalidades semelhantes.

Outros aspecto importante advém da era da internet, uma vez que agora torna-se muito mais fácil colocar um *software* desenvolvido num servidor e permitir que muitos possíveis usuários, possam aceder e trabalhar com os mesmos.

Para terminar, refere-se um avanço que em muito ajudou os programadores, as Bibliotecas de subrotinas matemáticas, onde se pode encontrar um em número de funções matemáticas, e.g. geração aleatória de números, entre outros, e que podem ser adquiridas livremente e potenciam a fiabilidade dos programas. A biblioteca científica GNU (www.gnu.org), é um exemplo particularmente interessante para quem programa em C/C++.

3.5.2 Criação de *softwares* para a resolução de problemas de análise de eficiência em DEA

Quem cria *softwares* para uso em DEA, pode efectuar um sem número de combinações de diferentes tecnologias, se trabalha com produtos Cartesianos. Dois exemplos, apontados por *Morgunov*, são as combinações de *softwares* de *desktop* DEA baseados no SO *Windows* e *Borland C++ Builder*, ou DEAs de internet baseados em DBMS relacionais profissionais, e.g. *PostgreSQL*, e *Perl* ou linguagem C, com uma visualização em CGI (*Common Gateway Interface*).

Os *softwares* DEA de *desktop*, são ferramentas de pesquisa para um único indivíduo (praticante ou investigador). Este tipo de programas divide-se em três partes:

1. *Kernel*, a parte mais importante. É desenhado para a concepção de modelos DEA e outros processos matemáticos auxiliares, como correlações, *clusterings*, etc. Os sistemas mais vantajosos, são os criados em C/C++, pela sua capacidade de ligação a outros programas, como os *Borland* e *Microsoft*. A capacidade de importar os programas para diferentes sistemas operativos é uma das características mais importantes que um sistema deve ter. Mais uma vez a criação em linguagem C, permite a importação para vários SO, sem necessitar de reescrever os códigos de programação;

³³ Database management systems - DBMS

2. *Database*, uma conquista dos nossos tempos. Antigamente os *softwares* de DEA, não usavam bases de dados reais, usavam o armazenamento em pequenos ficheiros, que dificultava o acesso á informação. A utilização de bases de dados favorece a gestão dos dados, potenciando que não ocorra uma dupla computação de dados. Reduz o erro associado ao operador e oferece a possibilidade de verificação de dados, enquanto são colocados no programa. Com o uso de DBMS podem ser implementados os “repositores de dados”, que centraliza os dados para um sem número de estudos que o utilizador possa estar a desenvolver. Só para referir alguns exemplos, DMUs, *inputs/outputs*, podem ser guardados e reutilizados, sendo apenas necessário introduzir o seu ID. Para sistemas complexas, como informação de empresas multinacionais, aconselha-se a elaboração de sistemas de armazenamento de informação multinível;
3. *Interface*, o lado mais visível da criação. Aqui a opção de uso do Borland C++ Builder é a mais popular, pela facilidade e por ser bastante intuitivo e apelativo. Cria-se assim uma paginação do programa que pode ser depois convertida em informação visual, que favorece o uso do *software*, por outros utilizadores;

Os programas de internet, são os que mais nos dizem respeito. São estes os nossos alvos. Mais do que desenvolver um *software*, procuramos encontrar um que já esteja acessível *on line* e que sirva o nosso propósito. Com características semelhantes aos programas de *desktop*, *Kernel*, *database* e *interface*, estes são a evolução dos anteriores, já colocados em linguagem de servidor *www.server*.

Conseguimos assim perceber quais os dois tipos de *software* que existem, os de *desktop* e os de acesso por internet. Não sendo uma explicação exaustiva, nem sendo esse o objectivo, percebemos as dimensões mais importantes do que é um programa de DEA e caso quiséssemos iniciar a construção de um *software* deste tipo já poderíamos ter uma base sólida de arranque. No próximo ponto vamos falar dos programas, quais são. De que tipo são, quem os desenvolve, a que tipo de problemas se destinam e assim começamos a cruzar dados para atender ás necessidades do nosso caso de estudo.

3.5.3 Os softwares no mercado

Os *softwares* para aplicação em análises por DEA existentes no mercado pode-se afirmar que são em número considerável. *Barr* na sua investigação (*Barr, 2004*), refere cerca de 20 programas identificados, sendo que desses 8 poderiam apresentar-se com aplicação viável para problemas de DEA. Na realidade, nos últimos anos têm surgido inúmeros *softwares*, não só para aplicação em DEA como também para problemas mais genéricos de análise de produtividade e eficiência.

Como se pode ver na Tabela 17, não só são várias as linguagens de programação como também os programas existentes.

<i>Table: Frontier Software Tools (All Methods)</i>		
Language	Type	Author(s)
AMPL	DEA	Green (1996)
GAMS	DEA	Olesen & Petersen (1996)
Mathematica	DEA	Ley (1996)
SAS	DEA	Emrouznejad (2005)
VBA	DEA	Zhu (2003)
Program	Author(s) and/or Web Page	
BSFM ^F	Stoch. Fr.	Arickx, Broeckhove, Dejonghe & van den Broeck (1997)
DEA Excel Solver ^F	DEA	Zhu (2003); www.deafrontier.com/deasolver.html
DEAP (v 2.1) ^F	DEA	Coelli (1996); www.uq.edu.au/economics/cepa
DEA-Solver-Pro	DEA	www.saitech-inc.com/Products/Prod-DSP.asp
EMS ^F	DEA	www.wiso.uni-dortmund.de/lsg/or/scheel/ems
FEAR ^F	DEA	Wilson (2007); www.clemson.edu/economics/faculty/wilson/Software/FEAR/fear.html
Frontier (v 4.1) ^F	Stoch. Fr.	Coelli (1996); www.uq.edu.au/economics/cepa
Frontier Analyst	DEA	www.banxia.com/famain.html
LIMDEP	Stoch. Fr. & DEA	www.limdep.com
OnFront	DEA	www.emq.com/software.html
PIM-DEAssoft	DEA	www.deasoftware.co.uk
Stata	Stoch. Fr.	www.stata.com
StoNED ^F	Stoch. DEA	Kuosmanen (2006, 2007); Kuosmanen & Kortelainen (2007); www.nomepre.net/stoned
TFPIP (v 1.0) ^F	Indices	Coelli (1997); www.uq.edu.au/economics/cepa
xIDEA	DEA	www.prodtools.com/Products.html#
WinBUGS ^F	Stoch. Fr.	Griffin & Steel (2007); www2.warwick.ac.uk/fac/sci/statistics/staff/academic/steel/steel_homepage/software/

* F = Freely available

Tabela 17 - As ferramentas informáticas para aplicação em análises por DEA

Fonte: www.gapem.org

Podemos ver na tabela que nem todos os programas e linguagens são exclusivamente para DEA, também foram desenvolvidos programas para análise de fronteiras e análise de fronteiras estocásticas. No seu estudo Barr divide a sua análise dos *softwares* em 8 categorias, que passamos a resumir:

Tabela 18 - As 8 categorias criadas por Barr na classificação dos softwares para aplicação em problemas resolvidos por DEA.

Categoria A - Modelos disponíveis	Existe uma grande variação entre os diferentes conjuntos de programas, em termos de oferta de modelos DEA. Alguns apresentam os modelos clássicos DEA, CCR-CRS e BCC-VRS. Nesta categoria encontra-se uma lista. Não exaustiva de modelos, codificados apropriadamente.
Categoria B – Características DEA chave e Capacidades	São um conjunto de subcategorias que compõem esta análise. Desde a orientação para input/output, período de análise, resultados de super eficiência, etc

Tabela 19 - As 8 categorias criadas por Barr na classificação dos softwares para aplicação em problemas resolvidos por DEA (continuação).

<i>Categoria C - Plataforma e interoperabilidade</i>	Aponta os SO que suportam o programa. Apontam-se também quais os formatos de ficheiros de inputs e de resultados.
Categoria D – Interface do usuário	Podem ir desde GUIs (graphical user interface) complexos, até controlos em linhas de comando.
Categoria E - Relatórios	Inclui o número de relatórios standard incluídos, se o utilizador pode criar ad hoc relatórios á medida.
Categoria F – Documentação e suporte	Caracteriza, em termo de número de páginas, o manual de suporte, ou tutorial, como guia operacional do software.
Categoria G – Teste de performance	Realizado num Dell Precision Workstation 340, 1.8 Ghz Pentium, com 521 MB de RAM, com o SO Windows 2000, foram realizados teste de instalação e utilização. A plataforma Excel Solver normal foi substituída por uma versão Premium Solver Platform V5.0. As versões UNIX foram analisadas numa DEC Personal Workstation 600 AU, com um caso processador de 600 Mhz Alpha e 576 MB de RAM, correndo o programa OSF1 (UNIX) e usando o compilador <code>cxx</code> .
Categoria H - Disponibilidade	Analisa a disponibilidade de versões trial, de versões para multiutilizadores e os custos associados, entre outros.

Depois de apresentada a técnica DEA e alguns exemplos práticos da sua aplicação, a técnica foi aplicada a um caso de estudo, a rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*. No capítulo 4 serão apresentados, detalhadamente, os dados, formulações, resultados e análise dos mesmos.

Os resultados deste estudo podem ser consultados no Anexo B.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA RELATIVA DE UM CONJUNTO DE EMPRESAS PERTENCENTES A UMA REDE COLABORATIVA

4.1 Introdução

A aplicação da ferramenta DEA em contexto cooperativo está no âmago deste estudo. No capítulo que se segue, será apresentado o caso de estudo da rede cooperativa *Virtuelle Fabrik*, com a definição dos indicadores adoptados para a resolução, tanto do modelo CCR como do modelo BCC. A análise de resultados posterior, foi efectuada, recordando as perguntas iniciais deste estudo procurando responder às mesmas.

4.2 Caso de estudo: *Virtuelle Fabrik*

4.2.1 As redes colaborativas de empresas

Este caso de estudo visa aplicar a ferramenta DEA na medição da análise de eficiência relativa, de um conjunto de empresas que pertencem a uma rede colaborativa de longa duração (VBE), a *Virtuelle Fabrik*.

Constituída por empresas de pequena e média dimensão, do sector metalomecânico, a *Virtuelle Fabrik*, foi criada na Suíça em 1995, com o apoio da Universidade de *St. Gallen* e da Comissão Suíça para a Tecnologia e Inovação, mas foi a partir de 1998, depois da sua privatização, que esta VBE conseguiu crescer, através da união a outras redes de empresas, nomeadamente redes da Suíça, Alemanha e Liechtenstein (Abreu, 2006).

Segundo Abreu a adopção de uma estratégia de participação numa rede colaborativa, não só pode proporcionar vantagens aos seus membros, como pode também representar um factor de sobrevivência em cenários socioeconómicos turbulentos (Abreu, 2006).

A análise de eficiência de uma empresa pertencente a uma rede colaborativa é um processo complicado. A definição do que são os *inputs* e os *outputs* num contexto colaborativo não obriga à distinção entre o que é introduzido por cada empresa na rede colaborativa, assim como, o que é resultado (desejado) obtido, através desta colaboração.

Para compreender o processo de análise de eficiência em empresas pertencentes a uma rede colaborativa, é necessário *a priori* entender o que é uma rede colaborativa.

A adopção de uma estratégia de colaboração, por parte de uma empresa, aponta para um reforço da sua competitividade (Abreu, 2006).

Os processos cooperativos existem não só entre competidores, como também podem surgir entre organizações que não têm uma história de competição. O segundo tipo de colaboração é típico de empresas que estão presentes em sectores de negócio distintos e quando as empresas procuram diferenciar o seu tipo de negócio.

As cooperações estabelecidas podem ser diferenciadas pela área de intervenção, como está patente na Figura 40, seguinte.

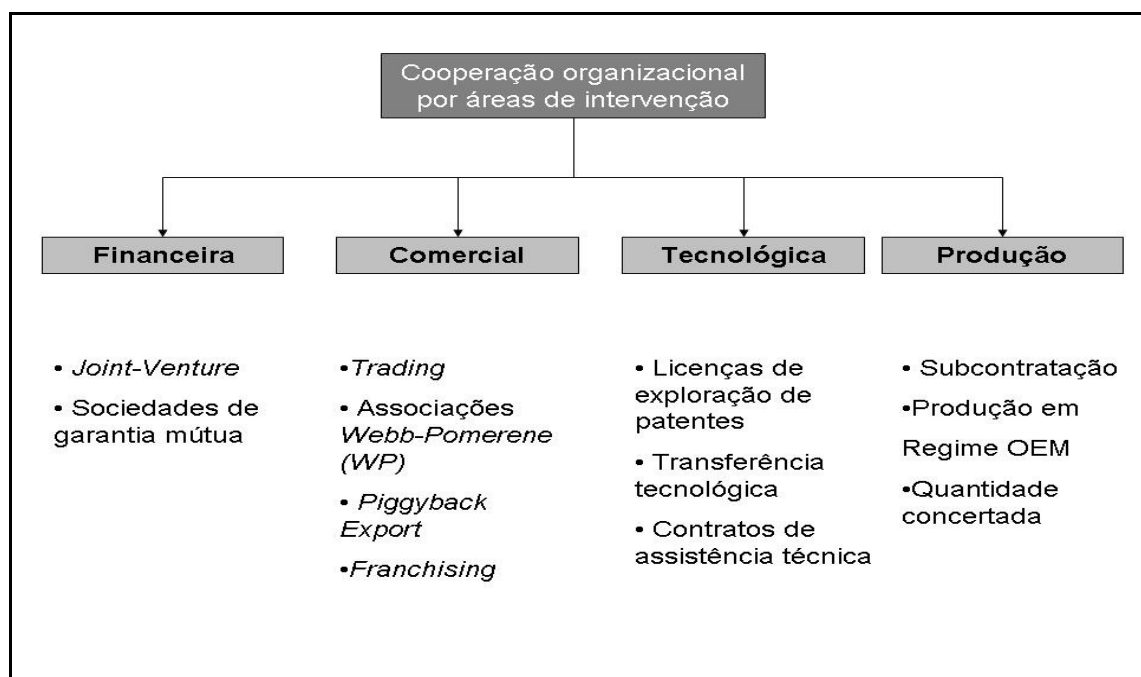


Figura 40 - Cooperação Organizativa por área de intervenção

A um nível mais formal, a cooperação organizacional pode ser efectuada através de vários modelos contratuais:

1. Modelo de Sociedade;
2. Modelo de Associação;

3. Modelo de Associação em Participação;
4. Modelo de Cooperativa;

5. Modelo de Agrupamento complementar de Empresas (ACE);
6. Modelo de consórcio;
7. Modelo de Agrupamento Europeu de Interesse Económico (AEIE);

Em termos de cooperação definida pela natureza estrutural, a Figura 41 resume as possibilidades de estrutura existentes.

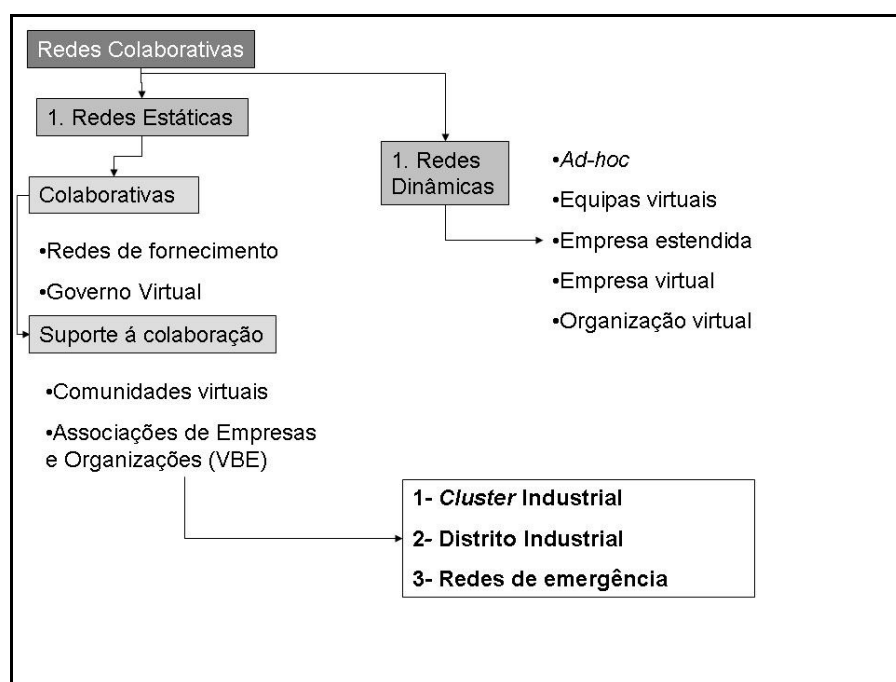


Figura 41 - Exemplos de redes colaborativas

Fonte: Adaptado de Abreu (2006)

Não sendo o objectivo principal desta dissertação a caracterização destas redes colaborativas, torna-se pertinente compreender como se definem e quais as suas principais características. Para aprofundar este assunto recomenda-se a leitura de Abreu (2006).

A Tabela 20, que segue, procura sistematizar algumas informações relevantes, referentes à caracterização das redes colaborativas.

Tabela 20 - Caracterização da diferenciação estrutural das redes colaborativas

Tipo de rede	Caracterização da rede	Horizonte temporal	Objectivos
Rede de fornecimento	Rede de cooperação	Longo Prazo	Cooperação multiempresarial, com posições bem definidas, ao longo da cadeia de valor do produto.
Governo virtual	Rede de organizações governamentais	Médio e Longo Prazo	Permite o acesso dos cidadãos a uma rede de serviços integrada, através de uma rede de computadores
Ambiente de gestão de organizações virtuais (VBE)	Conjunto multiorganizacional	Longo Prazo	Estratégia de cooperação, em que são estabelecidos acordos, respeitantes a um conjunto de princípios e infra-estruturas consideradas relevantes, de forma a poder aumentar o nível de preparação para uma potencial colaboração, no contexto de uma rede dinâmica de cooperação (VE/VO). Alguns exemplos de VBEs regionais são os <i>clusters</i> industriais, distritos industriais e redes de emergência.
Comunidade virtual	Redes de individuais	Longo Prazo	Através de uma rede computadores, os indivíduos pertencentes á comunidade adoptam um conjunto de regras que permite a redução do período de tempo necessário para estabelecer uma relação de cooperação.
Redes <i>ad hoc</i>	Redes de entidades (civis, governamentais, ONGs, etc)	Curto Prazo	Criação de uma rede de colaboração entre um conjunto de entidades para fazer face a uma emergência, p.e., desastre natural.
Empresa virtual (VE)	Rede de empresas independentes	Curto a Médio Prazo	Sustentada por uma infra-estrutura de TI (tecnologias de informação), para responder mais assertivamente a oportunidades de negócio.
Organização virtual (VO)	Rede de organizações independentes	Curto a Médio Prazo	Muito semelhante ás VE, onde através das infra-estruturas baseadas em TI existentes, existe uma partilha de recursos e competências.
Empresa estendida	Rede de empresas independentes	Curto a Médio Prazo	Para casos em que exista uma predominância de uma empresa, na rede estabelecida, que estende a sua influência aos seus fornecedores.
Equipa virtual	Pessoas individuais	Curto Prazo	Rede de indivíduos que actua em conjunto para realizar um objectivo comum. A rede assenta numa estrutura suportada por computadores.

A rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*, da qual fazem parte as empresas analisadas neste estudo, é do tipo VBE³⁴, isto é, ambiente de gestação de organizações virtuais.

As redes VBE são um conjunto de organizações que numa estratégia de cooperação de longa duração, estabelecem acordos em relação a um conjunto de princípios e infra-estruturas consideradas relevantes para aumentar o nível de preparação para uma potencial colaboração, no contexto de uma rede dinâmica de cooperação (VE/VO)³⁵ (Abreu, 2006).

4.2.2 Descrição do caso de estudo

O estudo inicial visava a incorporação de 32 empresas, para ser efectuada a análise de eficiência por DEA, através de uma avaliação de 8 indicadores, 4 *inputs* e 4 *outputs*.

Para garantir a qualidade dos resultados foram escolhidas 12 empresas das 32 iniciais e apenas 6 indicadores dos 8 inicialmente propostos, passando de 4 *inputs* e 4 *outputs*, para 3 *inputs* e 3 *outputs*. Desta forma, garantiu-se o número mínimo de unidades de forma a não obter um número exagerado de DMUs eficientes, mas ao mesmo tempo dotava o modelo de graus de liberdade suficientes, para efectuar a análise por DEA, face ao número de indicadores utilizados.

No caso de estudo em causa, a análise de eficiência é medida através da relação entre as contribuições de cada empresa para a rede colaborativa e os benefícios/resultados que obtém por estar incluído na mesma. Este estudo visa quantificar os índices de eficiência de cada empresa ou DMU, estabelecendo um *ranking* das DMUs analisadas, procurando perceber quais as que conseguem alcançar um rácio mais eficiente entre a contribuição e a retribuição obtida pela incorporação na rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*.

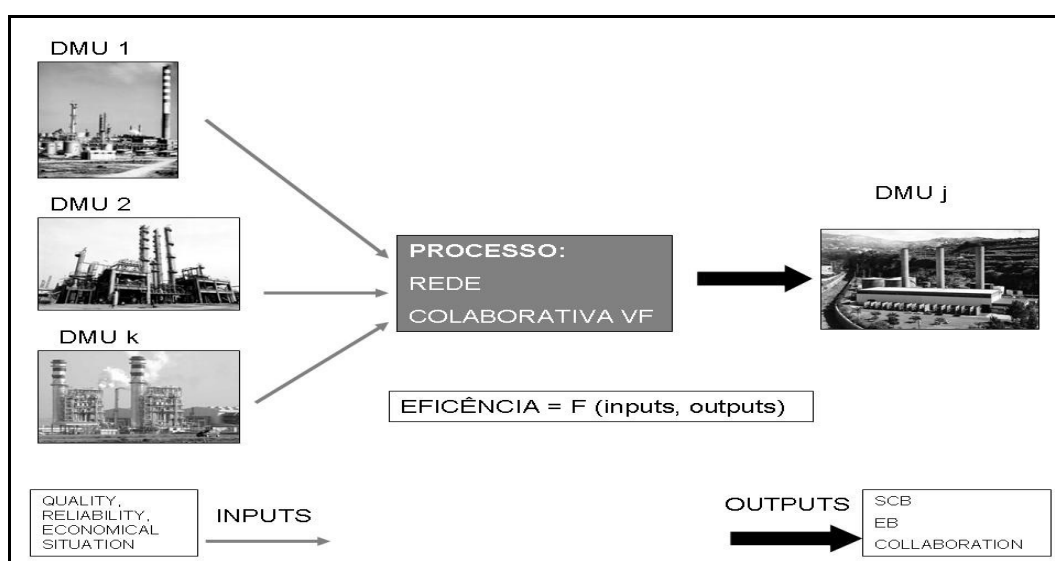


Figura 42 - Modelo DEA da rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*

³⁴ *Virtual Breeding Environment*

³⁵ Empresa virtual/Organização virtual

A Figura 42 procura sistematizar e resumir o caso de estudo da rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*.

As DMUs são analisadas através dos seus valores de *inputs* e dos seus valores de *outputs*. Na imagem superior podemos ver as contribuições (*inputs*) das diversas DMUs, neste caso da DMU 1 até á DMU K, representadas pelas setas de menor espessura, para a rede colaborativa, e a seta mais larga, que procura representar a retribuição obtida por uma DMU j, genérica, que advém da sua participação no processo colaborativo. Essa retribuição é calculada pelos valores medidos para os diferentes *outputs*. O resultado de eficiência será então resultado da avaliação, entre a quantidade de *inputs* utilizados e os *outputs* obtidos, efectuada pela DEA.

4.2.3 Definição dos *inputs* e *outputs*

A definição de objectivos e benefícios, dentro do contexto colaborativo, pode ser um processo extenso e moroso. No âmbito da análise de eficiência, os objectivos e benefícios obtidos pelas empresas, podem ser utilizados como guias na procura de indicadores para servirem como *inputs* e/ou *outputs*.

Um estado mais alongado sobre esta temática poderá ser consultado na obra de Abreu (2006), onde são discutidos com mais pormenor as definições de benefícios, as suas categorias e a forma de os calcular.

Os benefícios podem ser interpretados como sendo os resultados obtidos pela presença de uma empresa numa rede colaborativa. Recorrendo a uma lista de indicadores, utilizados para medir o nível de colaboração de cada empresa, é possível identificar quais os que melhor se adaptam para servirem como *inputs* e quais os que podem ser utilizados como *outputs*.

Para desenvolver este estudo, utilizaremos 12 empresas como grupo amostral, designadas como DMUs, e três *inputs* e três *outputs*.

A Tabela 21, seguinte, mostra quais os indicadores escolhidos para esta análise.

Tabela 21 - Indicadores utilizados para o estudo de análise de eficiência do caso de estudo

Indicador	Tipo	Natureza
Qualidade	<i>Input</i>	Indicador global de qualidade, que reflecte a capacidade de um actor ³⁶ fornecer produtos e/ou serviços de qualidade.
Fiabilidade	<i>Input</i>	Referente á fiabilidade que um actor apresenta, que espelha a sua capacidade de apresentar como produto/serviço final o que tinha sido proposto inicialmente.
Situação Económica	<i>Input</i>	Indicar que agrega toda a informação de cariz económico-financeiro de cada actor.
SCB (Benefícios de Contribuições Sociais)	<i>Output</i>	Determinação do valor dos benefícios fornecidos por um actor a_i , num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, em relação a um conjunto de actores.
EB	<i>Output</i>	<i>Determinação do valor dos benefícios recebidos por um actor a_i, num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, com origem num conjunto de actores</i>
Colaboração	<i>Output</i>	A determinação deste indicador permite medir o nível de participação efectiva de um actor em processos de colaboração solicitados por terceiros. Em termos de análise de redes sociais, corresponde ao grau exterior de um actor.

Os *inputs* utilizados, de seguida detalhados, foram interpretados como contribuições para a rede colaborativa.

O *input Qualidade* define-se como o nível de qualidade que uma empresa possui. O índice de qualidade está directamente relacionado com a qualidade que uma empresa oferece nos seus produtos, serviços, entre outros.

É uma medida global de qualidade, englobando vários factores, que visa dar a um potencial cliente uma indicação da capacidade da empresa fornecer um serviço de qualidade. Quanto mais elevado for este indicador maior o potencial colaborativo da empresa, uma vez que é provável que colabore com mais empresas dentro da rede.

Por seu lado, *Fiabilidade*, é um indicador de confiança, que está directamente ligado á capacidade que cada empresa tem de cumprir o estipulado, seja em termos de prazos de entrega, especificações do produto, etc. Tal como o *input Qualidade*, em *Fiabilidade*, espera-se que o índice de cada DMU seja o máximo possível dentro da escala, indicando assim, que é um potencial bom parceiro numa rede colaborativa.

O terceiro *input* que vai ser considerado no nosso modelo é a *Situação Económica* que se relaciona com a avaliação da situação financeira da empresa. Este valor é máximo quando a empresa possui uma situação financeira que é considerada pelos avaliadores como tendo um baixo risco de incumprimento dos seus compromissos com a banca, por exemplo,

³⁶ Actor = interveniente (organização) numa rede colaborativa

capacidade de endividamento da empresa, capacidade de obtenção de crédito junto dos bancos.

Cada DMU analisada vai contribuir com os seus produtos ou serviços, mas para encetar processos comerciais e/ou colaborativos, vai ter de ser analisada através dos indicadores que a caracterizam e que são comuns a todas as empresas, permitindo que se criem *rankings* associados a cada indicador, que *a posteriori* ajudarão gestores e administradores a escolher os melhores parceiros.

Do outro lado do processo colaborativo, do lado do retorno, encontramos os benefícios ou resultados, chamados *outputs*.

A(s) empresa(s) com melhor *mix* de *inputs* é de esperar que apresentem melhores resultados, ou que retirem mais benefícios, através da participação na rede. Os resultados como vimos, serão analisados por três *outputs*.

O primeiro dos três *outputs*, SCB (*Benefícios de Contribuições Sociais*), é definido como sendo o total de benefícios que uma DMU, num determinado contexto ou intervalo de tempo, concede a um outro conjunto de DMUs. Pode ser entendido como uma medida que afere a quantidade de ligações estabelecidas entre uma DMU e outras DMUs presentes na rede, através da medição do número de benefícios total que a DMU em causa concede ao grupo de DMUs com as quais colaborou.

Por seu lado, os *Benefícios Externos (EB)* é o inverso do anterior, é o conjunto de benefícios que uma determinada DMU recebe pela cooperação com um grupo de DMUs presentes na rede colaborativa.

O terceiro e último *input*, *Colaboração*, mede o número de processos colaborativos iniciados por uma determinada DMU dentro da rede *Virtuelle Fabrik*. É de esperar que um maior número de processos colaborativos seja sinónimo de maiores benefícios, pecuniários e não só, para a DMU em análise.

A análise por DEA procura encontrar um único indicador, chamado indicador de eficiência, que analisa as contribuições e retornos obtidos por cada empresa para a rede colaborativa, ou seja, agrega todas as informações relativas aos indicadores que caracterizam cada DMU e compara com a capacidade de cada DMU retirar benefícios da mesma rede. É de esperar que uma empresa ou DMU que tenha bons indicadores de entrada, *inputs*, consiga estabelecer muitas e “frutuosas” relações com os restantes membros que pertencem á rede, com consequentes valores elevados de resultados obtidos pela sua inserção na rede.

No anexo C, podem ser consultados todos os indicadores da rede *Virtuelle Fabrik*.

4.2.4. Construção do modelo

Os valores das variáveis, para efectuar uma análise de eficiência por DEA, são apresentados, na Tabela 19. Estes dados são uma adaptação dos valores fornecidos pela *Virtuelle Fabrik*, de forma a garantir que os modelos da análise por DEA poderiam ser executados.

Tabela 22 - Modelo e dados do caso de estudo

DMU	Inputs			Outputs		
	Qualidade	Fiabilidade	Situação Económica	SCB	EB	Colaboração
A	2	6	5	125	160	5
B	4	6	5	230	180	3
C	2	6	5	70	280	2
D	5	6	6	132	240	3
E	5	6	6	85	2	2
F	2	6	6	490	240	9
G	5	6	4	175	47	6
H	4	6	4	11	65	2
I	6	6	5	310	180	4
J	6	6	4	336	460	11
K	6	6	5	580	540	5
L	3	5	3	119	210	3
Mínimo	2	5	3	11	2	2
Máximo	6	6	6	580	540	11
Média	4.17	5.92	4.83	221.92	217.00	4.58

4.3. Análise de Resultados

O modelo acima apresentado foi analisado através do *software Frontier Analyst version 4. 1* (versão demonstração), disponibilizado pela empresa BANXIA. De forma a validar os resultados obtidos, o modelo foi também analisado pelo *add-in xIDEA 2.0 free trial* do programa EXCEL .

Para compreender melhor os resultados que vão ser a seguir apresentados, apresenta-se uma tabela com a designação e definição de cada *item* utilizado na análise dos resultados³⁷.

³⁷ Foi efectuada uma selecção prévia de entre todos os *itens* que são fornecidos pelo *software* utilizado, de forma a apresentar apenas os resultados mais relevantes para o estudo em causa.

Tabela 23 - Catalogação dos parâmetros de análise no caso de estudo

Item	Definição	Item	Definição
Score de eficiência	Resultado de cada DMU expresso em percentagem %	Retornos de escala³⁸	Valores apresentados na seguinte forma: -1: retornos decrescentes 0: retornos constantes 1: retornos crescentes
Valor Actual	Valor utilizado no cálculo do <i>score</i> de eficiência	IO contributions	Contribuições, sob a forma de percentagem, de cada <i>input</i> e <i>output</i> , para o <i>score</i> de eficiência final
Valor Alvo	Valor indicado como capaz de levar a DMU em causa até à fronteira de eficiência = valor capaz de fazer com que DMU tenha um <i>score</i> de eficiência = 1	Valores primais	Pesos em bruto, atribuídos às variáveis, na resolução ³⁹ do modelo por DEA.
Número de unidades pares	Número de unidades pares que uma unidade tem, se tiver alguma ⁴⁰	Número de referências	DMUs eficientes: é igual ao número de vezes que cada uma destas unidades é indicada como pares de outras DMUS

Para a realização de uma análise posterior, identificaram-se os *rankings* de cada DMU calculados para cada *input* e *output*. Os *rankings* de todos os indicadores foram depois somados de forma a obter um *ranking* total. Esta soma permitiu obter uma medida empírica que possibilitou, antes de aplicar a ferramenta DEA, tirar algumas conclusões e depois verificar se estas se coadunavam com os resultados obtidos pela ferramenta DEA.

Note-se que na ferramenta DEA, para cada DMU o peso atribuído a cada *input* e *output* é feito de forma a maximizar o seu índice de eficiência, o que permite no nosso caso, em que não serão impostas restrições de pesos, que uma DMU com um *ranking* total, á partida

³⁸ Para modelos de retorno de escala variáveis, BCC,

³⁹ Este valores são normalizados automaticamente pelo *software*, segundo um algoritmo interno, cuja definição não é facultada. Os resultados poderão estar ligeiramente alterados.

⁴⁰ Para DMUs eficientes, este valor é igual a 0.

baixo, possa vir a ser considerada eficiente. Este resultado é importante para compreender a ferramenta DEA, uma vez que, por exemplo, uma DMU x , tem um índice de eficiência de 1,0, mas só é eficiente quando considerado um *input* e um *output*⁴¹, o que pode indicar que essa DMU possa vir a ser uma referência a seguir, uma vez que há um resultado obtido que resulta de uma eficiente alocação dos *inputs*.

No estabelecimento do *ranking* supra referido, para DMUs que tenham o mesmo valor, p.e., no indicador i , assume-se uma situação de empate, sendo a posição obtida em *ex æquo* com as demais DMUs.

Tabela 24 - Rankings parciais e totais das DMUs (em análise a priori)

DMU	Qualidade ranking	Fiabilidade ranking	Situação Económica ranking
A	1	1	2
B	3	1	2
C	1	1	2
D	4	1	1
E	5	1	1
F	1	1	1
G	5	1	3
H	3	1	3
I	6	1	2
J	6	1	3
K	6	1	2
L	2	2	4
DMU	SCB ranking	EB ranking	Colaboração ranking
A	8	7	4
B	5	6	5
C	11	3	6
D	7	4	5
E	10	10	6
F	2	4	2
G	6	9	3
H	12	8	6
I	4	6	4
J	3	2	1
K	1	1	4
L	9	5	5

⁴¹ Pela atribuição de peso 0 a todos os outros indicadores, a eficiência será analisada pela relação entre o *input* e o *output* que têm peso diferente de 0.

Tabela 25 - Rankings parciais e totais das DMUs (em análise *a priori*)

DMU	Soma Ranking	Ranking total
A	23	5
B	22	4
C	24	6
D	22	4
E	33	8
F	11	1
G	27	7
H	33	8
I	23	5
J	16	3
K	15	2
L	27	7

As DMUs F, K e J, ocupam respectivamente o 1º, 2º e 3º lugares do *ranking* total, o que pode ser um indicador de que podem vir a ser consideradas DMUs eficientes.

O estudo desenvolvido analisou as 12 DMUs que fazem parte da rede colaborativa *Virtuelle Fabrik*, através dos 4 modelos mais utilizados em DEA, os modelos orientados para *input* e *output*, CCR (*CRS - constant returns of scale*) e BCC (*VRS – variable returns of scale*)..

Os modelos CCR e BCC apresentam, entre si, uma diferença essencial, o primeiro admite retornos constantes de escala, enquanto que o modelo BCC, por sua vez, admite retornos variáveis de escala. Esta questão é importante, pois são os retornos de escala que traduzem a relação esperada entre *inputs* e *outputs* Para retornos de escala constantes, a escala em que é feita a análise não é um factor significativo, ou seja, uma empresa de elevada dimensão não é mais eficiente que uma pequena empresa. Por seu lado, no modelo BCC, é esperado que uma variação nos *inputs* se reflecta numa variação desproporcionada (crescente ou decrescente) dos *outputs* (Afonso & Santos, 2005).

Esta constatação é importante no nosso caso de estudo, uma vez que foram aplicados os dois modelos, ou seja, admitimos ambas as situações. Nos modelos BCC, com os resultados apresentados em anexo, na resolução do caso de estudo são devolvidos valores dos retornos de escala como está presente na Tabela 26. O modelo CCR só admite retornos iguais a 0.

Tabela 26 - Valores dos retornos de escala RTS do modelo BCC output

DMU	Modelo BCC	RTS
A	Output	0
B	Output	1
C	Output	0
D	Output	1
E	Output	-1
F	Output	0
G	Output	-1
H	Output	-1
I	Output	1
J	Output	0
K	Output	0
L	Output	0

Podemos observar que as DMUs A, C, F, J, K e L apresentam valores de *RTS* iguais a zero, ou seja apresentam retornos constantes de escala.

As DMUs B, D e I, têm um valor de *RTS* igual a 1, ou seja, retornos crescentes de escala, enquanto que, as DMUs E, G e H, têm um valor de retorno de escala igual -1, indicando, retornos decrescentes de escala. Para o modelo BCC, orientação *input*, pode ser feita uma análise análoga, por análise da tabela em anexo.

Quando se aplica uma orientação *input* ou *output* num modelo, quer seja CCR ou BCC, espera-se que exista uma concordância em termos de DMUs eficientes, embora seja de esperar que nas DMUs com índices de eficiência, inferiores a 1 e, por conseguinte, consideradas não eficientes, possam existir diferenças nos seus valores de ineficiência.

As Tabelas 27 e 28 resumem os resultados obtidos. A análise que se segue, procura resumir os resultados mais importantes obtidos para cada modelo em cada uma das orientações.

Tabela 27 - Índices de eficiência

DMU	Modelo CCR				Modelo BCC			
	Output		Input		Output		Input	
	Score de eficiência %	ranking	Score de eficiência %	ranking	Score de eficiência %	ranking	Score de eficiência %	ranking
A	70	3	70	3	100	1	100	1
B	46.96	7	46.96	7	46.96	5	83.73	5
C	100	1	100	1	100	1	100	1
D	51.5	6	51.5	6	51.5	4	84.85	4
E	20.2	9	20.2	9	20.2	7	83.33	6
F	100	1	100	1	100	1	100	1
G	60.43	4	60.43	4	65.22	2	89.58	3
H	22.58	8	22.58	8	27.03	6	83.33	6
I	59.38	5	59.38	5	59.38	3	90.37	2
J	100	1	100	1	100	1	100	1
K	100	1	100	1	100	1	100	1
L	76.69	2	76.69	2	100	1	100	1

Tabela 28 - Resumo dos resultados obtidos para os modelos CCR e BCC (input e output)

	Modelo CCR		Modelo BCC	
	Output %	Input %	Output %	Input %
Média	67.31167	67.31167	72.52416667	92.9325
Máximo	100	100	100	100
Mínimo	20.2	20.2	20.2	83.33
Nº DMUs	12	12	12	12
Nº DMUs eficientes	4	4	6	6
DMUs eficientes	C,F,J,K	C,F,J,K	A,C,F,J,K,L	A,C,F,J,K,L

4.3.1 Análise dos resultados obtidos para o modelo CCR

Pelos resultados apresentados na Tabela 28, é possível ver que em qualquer uma das suas orientações, o modelo CCR, apresenta 4 DMUs eficientes, as DMUs C, F, J, K, sendo as restantes ineficientes. Aqui o resultado mais baixo é da DMU E, que nas duas orientações estudadas, apresenta um valor de índice de ineficiência de 20,2%, ou seja, só está a conseguir utilizar um quinto do seu potencial dentro da rede colaborativa. Neste modelo, em que em ambas as orientações, as DMUs apresentam sempre os mesmos índices, a média verificada para as DMUs ineficientes é de 67,31%, como se pode ver na Tabela 28. Ou seja, em média as DMUs analisadas, têm de aumentar em cerca de 33%, um terço, o seu rendimento, para se tornarem DMUs eficientes e cujos valores individuais são apresentados na Tabela 29.

Utilizando a formulação seguinte⁴², podemos aferir qual o potencial global de redução dos *inputs*, visando uma translação radial para a fronteira de eficiência, ou de aumento dos *outputs*, com o mesmo objectivo⁴³.

1. Para orientação *output*:

$$\text{Potencial de melhoria da DMU } i = \left(\frac{1}{\text{score de eficiência}_i} \right) - 1 \quad (7)$$

2. Para orientação *input*:

$$\text{Potencial de melhoria da DMU } i = 1 - \text{score de eficiência}_i \quad (8)$$

A Tabela 29 resume estes valores.

⁴² Esta formulação pode ser estudada no Subcapítulo 5 do documento HELP anexo ao programa xIDEA.xls

⁴³ Sem alterar o mix de *inputs/outputs*

Tabela 29 - Valores percentuais que permitem a translação das DMUs ineficientes para a fronteira de eficiência

DMU	Modelo CCR			
	<i>Output</i>		<i>Input</i>	
	Score de eficiência %	Potencial de aumento %	Score de eficiência %	Potencial de redução %
A	70	42.86%	70	30.00%
B	46.96	112.95%	46.96	53.04%
C	100	0.00%	100	0.00%
D	51.5	94.17%	51.5	48.50%
E	20.2	395.05%	20.2	79.80%
F	100	0.00%	100	0.00%
G	60.43	65.48%	60.43	39.57%
H	22.58	342.87%	22.58	77.42%
I	59.38	68.41%	59.38	40.62%
J	100	0.00%	100	0.00%
K	100	0.00%	100	0.00%
L	76.69	30.40%	76.69	23.31%

Pela análise da Tabela 29 observa-se que, apesar de neste modelo, ambas as orientações terem o mesmo índice de eficiência, os potenciais de variação, com vista á colocação radial de uma DMU ineficiente sobre a fronteira eficiente, são diferentes, ou seja, para uma cada uma das formulações, a forma de uma DMU ineficiente passar a ser eficiente não é igual. A forma como aumentam ou diminuem os seus *outputs* e *inputs*, não é proporcional.

Como era de esperar, as DMUs eficientes apresentam potenciais de aumento dos seus *outputs*, ou de diminuição dos seus *inputs*, igual a zero. Este resultado deriva do facto desta DMUs já se encontrarem sobre a linha de fronteira eficiente, logo a distância radial a essa linha é nula.

As DMUs E e H, na sua orientação *input* apresentam valores superiores a 300%, o que implica crescimentos dos seus *outputs* para valores três vezes superiores aos seus valores actuais. São as DMUs que apresentam, maiores aumentos globais dos valores dos seus indicadores de saída.

Na orientação *input*, as mesmas DMUs E e H, apresentam diminuições globais dos seus *inputs* na ordem dos 80%, destacando-se das demais DMUs.

Na análise que se segue, vamos procurar analisar mais pormenorizadamente estes resultados, acrescentando uma análise pormenorizada dos valores dos aumentos ou reduções por indicador, assim como as DMUs que se destacam como referências e quais as DMUs que devem ser seguidas, pelas DMUs ineficientes, no sentido de alcançar as melhorias necessárias nos seus indicadores, de forma a alcançar a eficiência.

1. Orientação *output* (Tabelas 36 a 46 no anexo D)

Na formulação do modelo CCR, recorrendo a uma orientação *output*, implica que as variações, visando a eficiência, variem desde os valores de 24% de diminuição do *input Qualidade* na DMU E (Tabela 39) e os 16487,7% de aumento na DMU E do *output EB* (Tabela 40).

A liderança no número de referências é das DMUs F e J, com 8 referências cada (Tabela 46).

Efectuando uma análise mais aprofundada, para o *input Qualidade*, a DMU C é a maior referência para as demais DMUs, com 5 referências. No *input Fiabilidade*, a DMU J tem 5 referências, ou seja, é considerada uma unidade com práticas que deveriam ser seguidas por outras 5 DMUs. Para o *input ES*, as DMUs K e J, dividem a liderança, com 3 referências cada. Por último, a DMU K é a única referência no *output SCB* (Tabela 46).

2. Orientação *input* (Tabelas 47 a 58 no anexo D)

Para esta formulação *input* do modelo CCR, as variações vão desde a diminuição de 84,6% no *input Qualidade* na DMU E (Tabela 50), até ao aumento de 3323,9% do *output EB* na mesma DMU (Tabela 51).

Quanto ao número de referências são as DMUs F e J, com 8 referências cada, as mais indicadas como unidades pares (Tabela 54).

Para o indicador *Qualidade*, a DMU C tem 6 referências e é a DMU com mais referências.

Para o indicador *Fiabilidade*, a DMU J é a mais referenciada, com 5 referências.

Para o indicador *ES*, o empate de DMUs mais referenciadas é entre as unidades K e J, com 3 referências cada.

No indicador *SBC*, só é referida a DMU k como sendo unidade par da unidade não eficiente B (Tabela 58).

4.3.2 Análise dos resultados obtidos para o modelo BCC

O modelo BCC tem nas duas formulações, orientação *input* e orientação *output*, 6 DMUs eficientes, que são as DMUs, A C F J K e L (Tabela 28).

A média dos valores de eficiência é de 72,5% na orientação *output* e 92,3% na orientação *input*. O valor mínimo no primeiro cenário é de 20,2% 2 no segundo é de 83,3% (Tabela 28).

1. Orientação *output* (Tabelas 59 a 70 no anexo D)

A orientação *output* apresenta valores de índices de eficiência iguais aos valores da orientação *input*. Apesar deste facto os valores actuais e alvo das duas orientações do modelo, não são iguais. Na orientação *output*, os valores alvo apresentam diferenças percentuais que vão desde a diminuição em 24% da quantidade do *input* *Qualidade* na DMU E (Tabela 63), ao aumento em 16847,7% do *output* *EB* também na DMU E (Tabela 64). O aumento necessário neste indicador pela DMU E, é um valor consideravelmente elevado pelo que a optimização da eficiência desta DMU é um processo hercúleo.

A unidade com maior número de referências pelas demais DMUs, é a DMU F, com 7 referências (Tabela 67).

Para o indicador *Qualidade*, a DMU F, é referenciada por 5 DMUs.

Para o indicador *Fiabilidade*, a DMU J é a mais referenciada, mais concretamente, é unidade par de 4 outras DMUs.

Para o indicador *ES*, são as DMUs L e K, têm 2 referências.

No indicador *SBC*, só uma unidade que é referência de outras, a DMU K é unidade par referência da unidade B (Tabela 70).

2. Orientação *input* (Tabelas 71 a 80 no anexo D)

A DMU E, já várias vezes referida, assume-se como sendo a unidade que mais precisa de melhorar, para alcançar um índice de valor 1. A diminuição de 50% do valor do *input* *ES* (Tabela 74) e o aumento do *output* *EB* em 10400% destacam-se na tabela de valores (Tabela 75).

No campo das referências, a mais referenciada é a DMU L com 7 indicações de unidade par de outras unidades (Tabela 78).

As DMUs L e K, com 3 referências, são as que se destacam para o *input* *Qualidade*, enquanto que no *input* *Fiabilidade* só a DMU L se destaca com 3 referências.

Por fim, a única referência do *input* *ES*, é a DMU L, sendo referência para a DMU I (Tabela 80).

4.3.3 Análise pormenorizada de uma DMU ineficiente - DMU B modelo BCC

Vamos agora analisar uma DMU ineficiente no modelo BCC *output*, neste caso a DMU B.

Todas as outras DMUs analisadas, podem seguir a linha de raciocínio aqui utilizada, de forma a conseguir compreender melhor o seu comportamento, do ponto de vista da eficiência relativa.

Tabela 30 - Resultados da DMU B no modelo BCC, orientação output

DMU	Score	RTS				
B	46.96	1				
DMU	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade	Actual ES	Actual SCB	Actual EB	Actual Colaboração
B	4	6	5	130	180	3
DMU	Target Qualidade	Target Fiabilidade	Target ES	Target SCB	Target EB	Target Colaboração
B	4	6	5	364.11	383.33	6.39
DMU	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent ES	Percent SCB	Percent EB	Percent Colaboração
B	-23.2	-16.3	-39	180,1	113	113
DMU	Diff Qualidade	Diff Fiabilidade	Diff ES	Diff SCB	Diff EB	Diff Colaboração
B	-0.93	-0.98	-1.95	0	37.87	0.05

Tabela 31 - Resultados da DMU B no modelo BCC, orientação output (continuação)

DMU	IO Cont Qualidade	IO Cont Fiabilidade	IO Cont ES	IO Cont SCB	IO Cont EB	IO Cont Colaboração
B	70	0	30	0	86.7	13.3
DMU	Primal Qualidade	Primal Fiabilidade	Primal ES	Primal SCB	Primal EB	Primal Colaboração
B	207.8	0	71.1	0	260	48.9
DMU	L-Peer Qualidade	L-Peer Fiabilidade	L-Peer ES	L-Peer SCB	Refs	Peers
B	C	F	J	K	0	4

Para a DMU B no modelo BCC, orientação *output*, o *score* de eficiência que esta DMU apresenta é igual a 46,96%, com retornos de escala (*RTS*) crescentes (Tabela 30).

Os valores actuais⁴⁴ apresentados para cada indicador utilizado⁴⁵ são os valores que foram computados de forma a calcular o seu *score* de eficiência. Como o seu índice é menor que 1, a DMU B é considerada ineficiente, pela análise de eficiência relativa, no modelo considerado e através da utilização da ferramenta DEA.

Para alcançar um índice de eficiência igual a 1, sem alterar o grupo de DMUs em análise, nem a natureza dos indicadores escolhidos, para cada um dos *outputs* a DMU B tem de variar os seus valores.

Para que a DMU B, no modelo BCC, orientação *output*, possa alcançar um índice de eficiência igual a 1, sem variar os seus *inputs*⁴⁶, o valor do *output SCB*, tem de ser 364,11, em contraste com o valor actual de 130, o valor actual de 180 do *output EB* terá de crescer para o valor alvo de 383,33 e o número de processos colaborativos terá de passar de 3 para

⁴⁴ Actual Values.

⁴⁵ Qualidade, Fiabilidade, Situação Económica como *inputs* e SCB, EB, Collaboration como *outputs*.

⁴⁶ Recorde-se que a orientação *output*, postula uma maximização dos *outputs* sem variar a quantidade de *inputs* utilizada.

6,39 (Tabela 30). A diferença entre os valores actuais e os valores alvo estão indicadas na tabela, assim como, os valores absolutos correspondem a variações percentuais.

Para o indicador *SCB* a variação implica um aumento do *output* em 180,1%, para *EB* esse aumento é de 113% e por fim para o *output Colaboração* o aumento é igual ao de *EB*, também na ordem dos 113% (Tabela 30).

Para consolidar a compreensão deste conceito de valor alvo, analisemos o que se passa para a mesma DMU B, mas na orientação *input*, do mesmo modelo BCC.

Assim no modelo BCC, orientação *input*, o *score* de ineficiência da DMU B é igual a 83,73%, por oposição aos 46,96% anteriormente verificados. Podemos fazer uma conclusão parcial, dizendo que a DMU B, no modelo BCC, é mais eficaz na alocação de recursos, ou seja, na utilização dos *inputs*, que na realização de *outputs*.

Para alcançar o *score* de 1, a DMU B, tem de efectuar as seguintes modificações *inputs Qualidade, Fiabilidade e ES (Situação Económica)* têm de variar, respectivamente, em termos absolutos, de 4 para 3,07, de 6 para 5,02, de 5 para 3,05, a que correspondem variações percentuais de, -23,2% para *Qualidade*, -16,3% para *Fiabilidade* e *ES* em -39%.

É importante compreender este conjunto de valores (Tabelas 69 a 72 no anexo D). Nenhuma empresa ou DMU, consegue melhorar os seus resultados se diminuir a sua qualidade, a sua fiabilidade ou se piorar a sua situação económica. A interpretação destes resultados é outra.

Estes valores indicam que uma unidade com os valores alvo, da DMU B, deveria ser capaz de obter a mesma quantidade de resultados que esta obteve e se tal acontecesse, essa(s) nova(s) DMU(s) teria(m) de ter valor(es) de *inputs* como os que são apresentados como sendo os valores alvo, para a quantidade de *outputs* considerada. A conclusão é que uma DMU, qualquer ela que seja, com piores valores de *inputs*, deveria ser capaz de produzir a mesma quantidade de *outputs* que produziu a DMU B, neste modelo considerado, e caso aconteça este cenário, essa nova DMU seria, então, uma DMU eficiente. Por outro lado, fica provado que a DMU B, está aquém do que deveria, em termos de eficiência, uma vez que com os valores de *inputs* que tem, deveria ser capaz de obter um melhor resultado.⁴⁷

Analisando outra vez a DMU B, para o modelo BCC, orientação *output*, as contribuições dos *inputs/outputs*⁴⁸, podemos ver que para a DMU B, em termos de *inputs*, o *input Qualidade* contribui 70% para o *score* e o *input ES*, contribui 30%. Daqui se conclui que o indicador *Fiabilidade* não tem nenhuma influência para o resultado final, ou seja, o seu peso que maximiza o resultado de eficiência é 0. A maior percentagem de contribuição vem da *Qualidade*, sendo este um resultado de referência da DMU B, que apesar de ser ineficiente,

⁴⁷ Não esquecer que estas conclusões só são válidas para o mesmo conjunto de DMUs, com os mesmos indicadores e com os mesmos modelos. Caso se altere o número de DMUs e/ou número de indicadores e/ou valores de cada indicador para cada DMU, os resultados obtidos deixam de ser válidos

⁴⁸ I/O

indica que pelo menos neste factor é capaz de fazer uma boa utilização dos recursos. Os 30% de contribuição da *ES*, indicam um valor que apesar de ser baixo, pode ter potencial de melhoria.

No lado dos *outputs*, a maior contribuição vem do indicador *EB*, com 86,7% de contribuição, o que quer dizer que este resultado é relevante no processo de participação da DMU B na rede colaborativa, obtendo relativamente aos seus *inputs*, uma quantidade aceitável de *Benefícios Externos*. A contribuição do indicador *Colaboração*, com 13,3 %, mais uma vez é reduzida, mas não deve ser menosprezada. O indicador *SCB*, apresenta valores que penalizam tanto o *score* de eficiência, que pela resolução deste modelo, é-lhe atribuída uma contribuição de 0%.

Os valores primários são os pesos absolutos de cada indicador. São os valores atribuídos pelo modelo, na resolução.

Por fim, vamos analisar as ligações da DMU B, com outras DMUs, neste modelo. Sendo a DMU B o número de referências da mesma, para outras DMUs, é igual a 0, não sendo referência para nenhuma DMU em nenhum indicador, mas o contrário já não é igual. A DMU B apresenta quatro unidades pares⁴⁹.

Para o *input Qualidade* a unidade par, ou referência, para a unidade B, é a unidade C. Isto indica que para esse indicador específico, a unidade C, tem um conjunto de práticas que, lhe permite globalmente um melhor resultado.

Sendo este caso de estudo uma análise de eficiência relativa de uma rede colaborativa de empresas, a análise das unidades pares pode assumir uma relevância acentuada, uma vez que com a indicação das DMUs pares para cada indicador de uma unidade não eficiente, pode estabelecer-se um mapa de parcerias a desenvolver, no sentido de troca de *know-how* e/ou criar um sistema de *benchmarking* das melhores práticas, de forma a disseminar uma estratégia produtiva e colaborativa que traga a todos mais valias.

4.3.4 Análise pormenorizada de uma DMU eficiente – DMU L modelo BCC

Para uma DMU eficiente, como é o caso da DMU L, em ambas as orientações do modelo BCC, a maior parte das análises efectuadas anteriormente são antagónicas.

Sintetizando a informação na forma de uma Tabela (Tabela 27):

- O *score* de eficiência da DMU L é igual a 1, sendo por isso, neste modelo, considerada, uma DMU eficiente. Os valores actuais e alvo são, iguais, daqui se afere que as percentagens de variação e as diferenças entre os dois valores são iguais a 0;

⁴⁹ *Peer units*

- Sendo uma unidade eficiente, torna-se referência para as demais unidades não eficientes. Para a orientação *input* a DMU L é referenciada por 7 outras DMUs e no modelo *output*, é referência para 3 unidades;
- As suas contribuições são um bom paradigma do que pode acontecer quando não existem restrições de pesos. No modelo *output*, as contribuições para os *inputs* são 100% influenciadas pelo indicador *ES* e nos *outputs* acontece uma situação análoga, com 100% de contribuição do indicador *SCB*. Este fenómeno já atrás referido merece ser salientado, uma vez que, a análise de eficiência relativa pela ferramenta DEA, indica que, para maximizar o seu índice de eficiência, nesta DMU, devem apenas ser considerados 2 indicadores dos 6 existentes, mais concretamente, 1 *input* e 1 *output*. Não querendo já entrar no campo das conclusões, impõem-se algumas considerações. A redução da análise a uma relação 1 *input* - 1 *output*, não é o objectivo desta ferramenta, mas se o objectivo é a maximização do índice de eficiência, sendo este um modelo “positivista”⁵⁰, vai apenas pegar nos aspectos onde a DMU é realmente eficiente e exacerba a sua importância. Assim sabemos, em sombra de dúvida, que esta DMU L, é uma referência muito importante para as demais DMUs, na transformação deste *input* em *output*. Neste caso, uma situação económica existente permite a obtenção de resultados relevantes no *output SCB*.

Tabela 32 - Resultado de eficiência, RTS, Refs e Peers da DMU L

DMU	Orientação	Score	RTS	Refs	Peers
L	output	100	0	3	0
L	input	100	0	7	0

Tabela 33 - Resultados relativos á DMU L

DMU	Orientação	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade	Actual ES
L	output	3	5	3
L	input	3	5	3
DMU	Orientação	Target Qualidade	Target Fiabilidade	Target ES
L	output	3	5	3
L	input	3	5	3
DMU	Orientação	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent ES
L	output	0	0	0
L	input	0	0	0
DMU	Orientação	Diff Qualidade	Diff Fiabilidade	Diff ES
L	output	0	0	0
L	input	0	0	0
DMU	Orientação	IO Cont Qualidade	IO Cont Fiabilidade	IO Cont ES
L	output	0	0	100

⁵⁰ No sentido em que de cada DMU salientam-se apenas as suas forças. Os aspectos onde a unidade é mais fraca são menos relevantes, ou podem mesmo não ser incluídos, favorecendo sempre a maximização do índice de eficiência.

Tabela 34 - Resultados relativos á DMU L (continuação 1).

L	input	66.7	0	33.3
DMU	Orientação	<i>Primal Qualidade</i>	<i>Primal Fiabilidade</i>	<i>Primal ES</i>
L	output	0	0	1162.2
L	input	133.3	0	66.7
DMU	Orientação	<i>L-Peer Qualidade</i>	<i>L-Peer Fiabilidade</i>	<i>L-Peer ES</i>
L	output	L		
DMU	Orientação	<i>Actual SCB</i>	<i>Actual EB</i>	<i>Actual Colaboração</i>
L	output	119	210	3
L	input	119	210	3
DMU	Orientação	<i>Target SCB</i>	<i>Target EB</i>	<i>Target Colaboração</i>
L	output	119	210	3
L	input	119	210	3

Tabela 35 - Resultados relativos á DMU L (continuação 2).

DMU	Orientação	<i>Percent SCB</i>	<i>Percent EB</i>	<i>Percent Colaboração</i>
L	output	0	0	0
L	input	0	0	0
DMU	Orientação	<i>Diff SCB</i>	<i>Diff EB</i>	<i>Diff Colaboração</i>
L	output	0	0	0
L	input	0	0	0
DMU	Orientação	<i>IO Cont SCB</i>	<i>IO Cont EB</i>	<i>IO Cont Colaboração</i>
L	output	100	0	0
L	input	NAN (<i>Non available number</i>)	NAN	NAN
DMU	Orientação	<i>Primal SCB</i>	<i>Primal EB</i>	<i>Primal Colaboração</i>
L	output	487.4	0	0
L	input	0	0	0
DMU	Orientação	<i>L-Peer SCB</i>		
L	output			

As maiores diferenças entre uma DMU eficiente e uma DMU ineficiente, além do *score* de eficiência, está ao nível dos valores actuais e valores a alcançar, que para DMUs eficientes são iguais entre si, ao contrário do que acontece para DMUs ineficientes, quando existe uma diferença entre valor alvo e valor actual, que pode ser traduzida em termos absolutos ou em termos percentuais.

Outra diferença está patente nas referências e unidades pares. As DMUs eficientes, são referência para unidades ineficientes e o inverso não acontece, podendo uma DMU eficiente ser referência num ou mais indicadores, para uma ou mais DMUs.

No capítulo seguinte serão apresentadas as conclusões e recomendações deste estudo, procurando sintetizar as discussões já realizadas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Considerações finais

Para efectuar a medição da eficiência relativa de um conjunto de empresas, pertencentes a uma rede colaborativa, foi aplicada uma técnica não paramétrica, a DEA, *Data Envelopment Analysis*.

Na realização deste estudo, foram analisadas 12 DMUs recorrendo a 3 *inputs*, *Qualidade*, *Fiabilidade* e *Situação Económica*, e 3 *outputs*, *Benefícios de Contribuições Sociais*, *Benefícios Externos* e *Colaboração*.

Através da análise por DEA, foi possível obter índices de eficiência para cada uma das DMUs, identificando as DMUs eficientes e as que apontavam para processos de melhoria.

Os resultados obtidos com este estudo devem ser tidos em conta apenas como um primeiro passo exploratório no sentido de melhorar a capacidade das empresas virem a utilizar mais correctamente os recursos colocados á sua disposição, tendo esta proposta sido exemplificada com recurso á rede *Virtuelle Fabrik*. Por isso, recomenda-se alguma contenção na análise dos resultados e nas elações a retirar do estudo.

5.2 Conclusões e limitações da técnica DEA

A técnica DEA é ainda uma técnica relativamente recente e a sua aplicação na área dos processos colaborativos, não está ainda disseminada, existindo pouca literatura, artigos, teses ou outras publicações, onde a DEA seja aplicada neste contexto. Desta forma, existe ainda muito espaço para desenvolver estudos de aplicação da DEA em redes colaborativas. Para realizar este estudo, foi efectuado um levantamento bibliográfico para permitir obter uma base teórica mais fundamentada.

A ferramenta DEA demonstrou ser relativamente simples de utilizar, embora a sua aplicação a este caso de estudo, em particular, tenha sido algo complexa. Para uma correcta utilização da técnica em causa, é essencial que exista informação disponível e que os dados existentes permitam ser utilizados para a análise de desempenhos relativos. O facto de não obrigar a uma predefinição de pesos, é uma vantagem desta ferramenta, uma vez que permite que, para cada DMU, sejam atribuídos os pesos relativos que maximizem o seu resultado de eficiência. Este facto, implica que não é preciso ter um conhecimento demasiado aprofundado de um caso de estudo, á partida, ou seja não obriga a uma atribuição de pesos que defina com exactidão a relação e o grau de importância de cada indicador, para o sistema que está a ser avaliado.

A análise posterior dos resultados já requer um utilizador mais familiarizado com o sistema, de forma a poder analisar as melhorias propostas pela técnica DEA e a forma de as alcançar.

Esta é aliás uma das maiores vantagens da utilização da técnica DEA, a medição dos potenciais de melhoria. A técnica DEA, não só é capaz de aferir qual ou quais as DMU(s) que é(são) eficiente(s), como calcula para cada DMU ineficiente, o seu potencial de melhoria, indicando o quanto se tem de melhorar, não só em termos globais, como em particular para cada *input* e cada *output*.

Sendo esta uma técnica de *benchmark* por excelência, as DMUs eficientes, ou seja, que se encontram sobre a fronteira eficiente de produção, tornam-se referências para as DMUs não eficientes, sendo possível efectuar uma análise posterior das práticas que são utilizadas pelas DMUs eficientes e que poderiam ser adoptadas pelas DMUs ineficientes, de forma a alcançar as metas definidas pela técnica DEA.

A DEA, através do seu modelo de retornos variáveis de escala, permite que DMUs de diferentes escalas sejam analisadas no mesmo conjunto. Assim, é permitido que DMUs de diferentes tamanhos, mas com processos produtivos semelhantes, sejam analisadas em conjunto.

Os resultados obtidos permitem identificar, para cada DMU, quais os indicadores que mais ou menos contribuem para o seu resultado de eficiência, permitindo uma análise pormenorizada dos indicadores em estudo.

A aplicação em diferentes períodos de tempo, da técnica DEA, ao mesmo conjunto de DMUs, utilizando os mesmos indicadores, permite obter uma verificação da evolução dos resultados de eficiência das diferentes DMUs, aferindo assim se melhoraram ou pioraram o seu resultado, entre períodos de tempo. Esta análise permite uma percepção de como se reflectem, nos índices de eficiência, as medidas aplicadas para melhorar ou manter os índices de eficiência, no caso de DMUs ineficientes ou eficientes, respectivamente.

Aqui encontramos uma grande limitação da técnica DEA. Pelo facto de ser uma ferramenta não paramétrica, não permite a extrapolação das suas conclusões, que são restritivos aos modelos específicos em que são aplicados. Caso se altere o número de DMUs, ou a natureza/número dos indicadores utilizados, num modelo específico, é obrigatório efectuar um novo estudo, pois os resultados anteriores já não são válidos. Também se sublinha o facto de, para aplicar a DEA, é necessário um conjunto de dados, o que implica uma quantidade considerável de informação. Os dados analisados, têm de ser equivalentes para as diferentes DMUs e por vezes não é possível encontrar dados compatíveis para as diferentes DMUs.

5.3. Conclusões e limitações do caso de estudo *Virtuelle Fabrik*

A aplicação da técnica DEA a este caso de estudo, em particular, apresentou algumas restrições e dificuldades.

A maior dificuldade de início foi a escolha dos indicadores que seriam utilizados como inputs e outputs. Foi necessário um estudo aprofundado de quais os indicadores estudados, que poderiam ser utilizados como *inputs* ou *outputs*.

Do grupo inicial de DMUs, só foi possível efectuar o estudo recorrendo a 12, uma vez que não existiam dados para as restantes. Atendendo ao número de DMUs existentes e através de um rácio de 1:2, só foi possível utilizar 6 indicadores, três *inputs* e três *outputs*, desta forma garantiram-se os graus de liberdade necessários para efectuar o estudo.

Neste caso de estudo foram aplicados os 2 modelos mais comuns de DEA, o modelo CCR e o modelo BCC, sendo que para cada um foram ainda estudadas separadamente as orientações *input* e *output*.

Os resultados obtidos para cada modelo, foram os esperados inicialmente, tendo sido possível identificar as DMUs eficientes e ineficientes, para cada modelo e orientação, tal como as contribuições de cada indicador, assim como os potenciais de melhoria das DMUs ineficientes, com uma análise particularizada para cada indicador.

O modelo BCC, revelou-se particularmente importante, nesta análise, uma vez que admite retornos de escala variáveis e as DMUs em estudo, apresentavam valores algo díspares dos seus indicadores.

Uma das maiores limitações deste estudo é precisamente o número de DMUs. De forma a melhorar o estudo, tornar-se-ia fundamental, aumentar o número de DMUs, sendo para tal necessário, obter mais informação e recolher mais dados, de forma a obter um grupo mais alargado de DMUs. Desta forma, os novos resultados, como foi discutido anteriormente, já não poderiam ser relacionado com os resultados obtidos por este estudo, uma vez que o grupo de DMUs em análise já não seria o mesmo.

Outra grande limitação deste estudo, diz respeito á interpretação dos resultados. É necessário efectuar a análise de resultados com algumas precauções, uma vez que por exemplo, nas formulações que apontam uma redução dos *inputs*, estes resultados têm de ser analisados dentro de um contexto e com base nos pressupostos da DEA.

Para uma redução de um *input* como o é a *Qualidade*, não se espera que uma redução deste factor seja benéfica para uma DMU. O que a redução deste indicador quer dizer é que uma DMU fictícia, com um resultado inferior naquele indicador deveria ser capaz estar na mesma posição da DMU em análise.

5.4 Recomendações para trabalhos futuros

A aplicabilidade da DEA em diferentes contextos e a diferentes casos de estudo, já amplamente mencionada ao longo desta dissertação. A sua correcta aplicação implica algumas premissas que devem ser respeitadas.

As informações obtidas para cada DMU, devem ser capazes de criar um conjunto de indicadores, que permitam utilizar a técnica DEA. Assim, é necessário a criação de bases dados, em aglomerados, ou divididos por séries temporais, de forma a poderem ser utilizados na análise de eficiência relativa. Quanto mais dados, melhor os resultados obtidos por esta ferramenta.

Na possibilidade de efectuar vários estudos, em diferentes períodos de tempo há que garantir que são utilizados sempre os mesmos indicadores e DMUs, para garantir que os resultados possam ser analisados e comparados nos diferentes períodos.

Para estudo futuros recomenda-se a adopção de uma diferente formulação da DEA, adoptando restrições aos pesos, de forma a garantir:

1. Uma relação matemática (de escala) entre indicadores;
2. Que não existam pesos iguais a 0, de forma a não elimina a contribuição de nenhum factor.

Esta adopção de restrições de pesos, já implica um conhecimento mais aprofundado do sistema em estudo, de forma a ser o responsável pelo estudo a definir estas relações, que de outra forma, seriam calculadas automaticamente pela DEA.

No caso de ser possível aumentar o número de DMUs, também poderia ser adotada, num estudo futuro, uma relação não de um indicador por cada duas DMUs, mas de um indicador para três DMUs, que segundo alguns autores, seria capazes de produzir resultados mais válidos, através do aumento dos graus de liberdade.

Um dos resultados fornecidos pela técnica DEA, que não foi utilizado neste estudo, é a análise de folgas, ou seja, para cada indicador é proposto um valor de aumento ou redução percentual, de forma a obter um índice de eficiência de 100%, mas este resultado não é estanque, permitindo a existência de uma folga, neste aumento ou redução.

Para um estudo futuro, recomenda-se uma análise em várias fases, em que se permita numa primeira fase identificar as DMUs eficientes e ineficientes, numa segunda fase efectuar uma análise das melhores práticas das DMUs eficiente, numa terceira fase aplicar as melhores práticas às DMUs ineficientes e numa última fase, repetir o modelo inicial, com os novos dados das DMUs inicialmente consideradas ineficientes e assim poder aferir como essas alterações surtiram resultados nos índices de eficiência, das DMUs ineficientes.

Por fim, uma recomendação de aplicação desta ferramenta seria a aplicação da DEA na Faculdade de Ciências e Tecnologia, na medição da eficiência relativa dos diferentes departamentos, que a compõem.

Os estudos de aplicação da DEA ao sistema de ensino terciário foram apresentados por diversas vezes neste estudo, com provas dadas da sua aplicabilidade.

A concepção de um estudo de análise de eficiência relativa através da técnica DEA, aplicado em diferentes períodos de tempo, pode ser útil para esta instituição, na medida em que poderá identificar possíveis alocações incorrectas de recursos e possibilitar a troca de informação e formação de parcerias e sinergias, que permitirão aos departamentos com melhores resultados, disseminar as suas boas práticas e tornarem-se a referência para os restantes departamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, A. (2006). Contribuição para o desenvolvimento de uma teoria de redes de colaboração. (Tese de doutoramento). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Afonso, A. e Santos, M. (2005). Students and Teachers: A DEA approach to the Relative Efficiency of Portuguese Public Universities. Consultado em 12 de Janeiro de 2009.
<http://www.iseg.utl.pt/departamentos/economia/index.php>
- Anjos, M. A. (2005). Aplicação da análise envoltória de dados (DEA) no estudo da eficiência económica da indústria têxtil brasileira nos anos 90. (tese de doutoramento). Universidade federal de Santa Catarina. Consultado em (2008).
<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/5029.pdf>
- Aouni B, Kettani O. (2001). Goal programming model: A glorious history and a promising future. *European Journal of Operational Research*, 133, 225-231.
- Azambuja, A. (2002). Análise de eficiência na gestão de transporte urbano de ônibus em municípios brasileiros. Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. Consultado em 02 de Setembro de 2008.
<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/2066.pdf>
- Barr, R.S. (2004). DEA Software Tools and Technology: A State-of-the-Art Survey. Consultado em 16 de Agosto de 2008.
<http://faculty.smu.edu/barr/pubs/tr04-05.pdf>
- Barr, R.S. (2004.) DEA Software Tools and Technology: A State-of-the-Art Survey. Kluwer, Boston, 539 566.
- Belton, A. & Vickers C. (1993). Demystifying DEA – A Visual Interactive Approach based on Multiple Criteria Analysis. *Journal of Operational Research Society*, 44(9), 883-896.
- Benjamin, J. & Obeng, K. (1990). The effect of policy and background variables on total factor productivity for public transit. *Transportation Research, Great Britain*, 24B (1), 1-14.
- Berechman, J. (1993), Public Transit Economics and Regulation Policy. Amsterdam, North-Holland.
- Charnes, A., Cooper, W. W. & Mellon, B. (1952). Blending Aviation Gasolines – A study in Programming Interdependent Activities in an Integrated Oil Company., *Econometrica*, 20 (2), 135-159. Consultado em 15 de Maio de 2008.

<http://www.jstor.org/stable/i332600>

Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. M. & Stutz, J. (1985). Foundations of Data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient production functions. *Journal of Econometrics*, 30, 91-107. Consultado em 13 de Maio de 2008.

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VC0-4582JY6-2K&_user=2459750&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000057394&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2459750&md5=d9147ae36c5fceadb2f788e80af3b1f5

Charnes, A., Cooper, W.W. & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. Consultado em 15 de Maio de 2008.

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCT-48NBHPY-2BX&_user=2459750&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000057394&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2459750&md5=6e9716387c872e58ed1cf605ef57d7d1

Clímaco, J.N., Antunes, C. H. & Alves, M. J. G. (2003). *Programação Linear Multiobjetivo: do modelo de programação linear clássico à consideração explícita de várias funções objectivo*. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.

Coelli, T., Rao, D. S. P., Battese, G. E. (1997). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Boston, Kluwer Academic Publishers.

Coelli, T., Rao, D.S., O'Donnell e Battese, G. E. (2005). G., "An introduction to Efficiency and Productivity Analysis", New York, Springer.

Cook, W. & Zhu, J. (2005). *Modeling Performance Measurement: Applications and Implementation Issues in DEA*. New York, Springer.

Cooper, W. W., Seiford, L.M. & Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-solver Software and References*. Boston, Birkhäuser.

Cooper, W., Seiford L. M. & Zhu, J.. "Chapter 1, Data Envelopment Analysis History, Models and Interpretations.". Consultado em 15 de Maio de 2008.
<http://www.deafrontier.com/hbchapter1.pdf>

Dae, P. H. "DEA models library". Consultado em 16 de Agosto de 2008.
<http://www.deazone.com/models/index.htm>

- Dogramaci, A., Färe, R. & Shephard, R. (1988). *Applications of Modern Production Theory: Efficiency and Productivity*. New York, Springer.
- Ehrgott, M. & Gandibleux, X. (2002). *Multiple Criteria Optimization: State of the Art Annotated Bibliographic Surveys*. New York, Springer.
- Ehrlich, P., (2005). "Fronteira de eficiência, Análise Envoltória de dados". Consultado em (2008).
- Emrouznejad, A., Parker, B. R. & Tavares, G. (2008), Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, Elsevier. 42(3), 151-157. consultado em 17 de Agosto de 2008
<http://ideas.repec.org/a/eee/soceps/v42y2008i3p151-157.html>
- Emrouznejad, A., Tavares, G., Parker, B. (2007). Investigation of research in DEA literature. Aston University. Consultado em 22 de Agosto de 2008.
<http://www.abs.aston.ac.uk/newweb/research/publications/docs/RP0732.pdf>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120 (3), 253-290. Consultado em 21 de Outubro de 2008.
<http://www.jstor.org/pss/2343100>
- Gattoufi S, Oral M, Kumar A e Reisman A. (2003). Epistemology of Data Envelopment Analysis and Comparison with Other Fields of OR/MS for Relevance to Applications. Consultado a 18 de Dezembro de 2009.
[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6Y-494HK6C-1&_user=10&_coverDate=09%2F30%2F2004&_rdoc=3&_fmt=high&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%235827%232004%23999619997%23486102%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=5827&_sort=d&_docanchor=&_ct=6&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=592442c59f85bd1d2cf8602d2ca2edea](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6V6Y-494HK6C-1&_user=10&_coverDate=09%2F30%2F2004&_rdoc=3&_fmt=high&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%235827%232004%23999619997%23486102%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=5827&_sort=d&_docanchor=&_ct=6&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=592442c59f85bd1d2cf8602d2ca2edea)
- Gattoufi, S. & Reisman A. (2002). Taxonomy for Data Envelopment Analysis. Consultado em 02 de Julho de 2008.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary;jsessionid=DCBEDA620C444FDCEAD0D219B7289B3D?doi=10.1.1.88.2490>
- Kassai, S. (2002). Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis. Consultado em 21 de Outubro de 2008.
<http://www.nossocontador.com/Artigos/36.pdf>

- Kittelsen, S.A.C. (1999). Monte Carlo simulations of DEA efficiency measures and hypothesis tests. Memorandum 09/1999, Oslo University, Department of Economics.
- <http://www.oekonomi.uio.no/memo/memopdf/memo0999.pdf>
- Kutvonen, A. (2007) Banking Regional Innovations and policies: DEA-Based benchmarking in a european setting. Consultado em 14 de Maio de 2008.
- <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-214-516-1>
- Lachtermacher, G. (2005). Pesquisa Operacional na tomada de decisões, Modelagem em Excel. São Paulo, Campus.
- Lovell, C. A. K. (1993). The Measurement of Productive Efficiency - Techniques and Applications. Oxford, Oxford University.
- Makui, A., Alinezhad, A. & Zohrehbandian, M. (2008). Efficiency evaluation in DEA models using common weights. Consultado em 12 de Janeiro de 2009.
- http://findarticles.com/p/articles/mi_7038/is_3/ai_n28518503
- Morgunov, E. (2005). Theory and practice of computer technologies used for creating DEA software. Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Rússia. Consultado a 03 de Dezembro de 2008.
- http://upeg.eerc.kiev.ua/conf/papers/Morgunov/Morgunov_Eugene.pdf
- Nowak, I. (2005). Relaxation and Decomposition Methods for Mixed Integer Nonlinear Programming. New York, Springer.
- Obeng, K., Assar, N., Benjamin, J. (1992). Total factor productivity in transit systems: 1983 – 1988. *Transportation Research in Great Britain*, 26A (6), 447 – 455.
- Pearson, K. (1993) “Data envelopment analysis: an explanation”, *Bureaus of Industry Economics*, 83.
- Peijun, G., Tanaka, H., (2001). *Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method Source Fuzzy Sets and Systems*. Amsterdam, Elsevier North-Holland.
- Ramanathan, R. (2003). An Introduction to Data Envelopment Analysis: A Tool for Performance Measurement. New York, SAGE.
- Ray, S. A. (2004). Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research. New York, Cambridge University Press.
- Reisman A, Kumar A & Motwani J. (2001). A Meta Review of Game Theory publications in the flagship US-based OR/MS journals.

- Reisman, A. (2005). Data Envelopment Analysis Preface to a special issue of Socio-Economic Planning sciences. *International Journal of Public Decision Making*. Consultado 15 de Maio de 2008.
<http://digital.sabanciuniv.edu/elitfulltext/3011800000026.pdf>
- Reisman A. (2001). A System Approach to Identify Knowledge Voids in Problems Solving Disciplines and Professions: A Focus on Management Sciences. Knowledge in society. *An International Journal of Knowledge Transfer*. Consultado em 16 de Agosto de 2008.
<http://www.springerlink.com/content/j4320772027850tl/?p=15ed2992b58e41febe96973f31c2a4a2&pi=12>
- Seiford, L. M. & Thrall, R. M. (1990). Recent Development on DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, 46, 7-38. Consultado em 15 de Maio de 2008.
http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=530942
- Seiford, L. M. (1996). Data Envelopment Analysis: The evolution of the state of the art (1978-1995). *The Journal of Productivity Analysis*, 7, 99-137. Consultado em 15 de Maio 2008.
<http://www.springerlink.com/content/k26452w0560p802g/?p=04f00ef90a904ad9a1eb1b4896ce82e6&pi=1>
- Sengupta, J. (1989). Efficiency Analysis by Production Frontiers: The Nonparametric Approach. New York, Springer.
- Sengupta, J. (1995). Dynamics of Data Envelopment Analysis: Theory of Systems Efficiency. New York, Springer.
- Sexton, R., Sriram, R. & Etheridge, H. (2003). Improving Decision Effectiveness of Artificial Neural Networks: A Modified Genetic Algorithm Approach. Consultado em 22 de Agosto de 2008.
http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3713/is_200307/ai_n9254004/pg_12
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39 , 312-20. Consultado em 21 de Outubro de 2008.
<http://www.econlib.org/library/Enc/bios/Solow.html>
- Sueyoshi, T. (2003). Mixed integer programming approach of extended DEA–discriminant analysis. Consultado em 28 de Janeiro de 2009.
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCT-47RB7BM-D&_user=7273953&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000057

394&_version=1&_urlVersion=0&_userid=7273953&md5=c4fd8267b21d2754f90e25658a824d9e.

- Tanaka, T. & Masagiro, I. (2003). Multi-Objective Programming and Goal Programming: Theory and Applications. New York, Springer.
- Tavares, G. (2002). A Bibliography on Data Envelopment Analysis (1978-2001). Rutgers University. Consultado em 22 de Agosto 2008).
http://rutcor.rutgers.edu/pub/rrr/reports2002/1_2002.pdf
- Tersine, R. (1980). Production/operations Management: Concepts, Structure, and Analysis. Amsterdam, North Holland
- Thanassoulis, E. (2001). Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software. New York, Springer.
- Wilson, P. & Simar, L. (1995). Bootstrap Estimation for Nonparametric Efficiency Estimates. Discussion paper 9517, Institut de Statistique, UCL and CORE, UCL
- Yu, J. (2005). A fuzzy multiple objective programming to DEA with imprecise data Source. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. Consultado em 28 de Janeiro de 2009.
<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1065354>

Anexo A - Taxonomia de *Gatouffi* para problemas analisados por DEA

Fonte: Gatouffi (2002).

First level (Field 1): Source of the data.

- 0: No data.
- 1: Hypothetical data.
- 2: Simulated data.
 - 2.1: Monte Carlo simulation
 - 2.2: Production process simulation
- 3: Real world data.
 - 3.1: Not-for-profit organization.
 - 3.1.1: Public.
 - 3.1.1.1: Agriculture.
 - 3.1.1.2: Defence.
 - 3.1.1.3: Education.
 - 3.1.1.4: Energy.
 - 3.1.1.5: Environment.
 - 3.1.1.6: Health care.
 - 3.1.1.7: Public Administration and its organization.
 - 3.1.1.8: Public finance.
 - 3.1.1.9: Public services other than health care and education.
 - 3.1.1.10: Macro economic aggregated data.
 - 3.1.2: Private.
 - 3.1.2.1: Education.
 - 3.1.2.2: Health care.
 - 3.1.2.3: Social programs and charities.
 - 3.1.3: Public and private
 - 3.1.3.1: Health care
 - 3.2: For-profit organization.
 - 3.2.1: Agriculture.
 - 3.2.2: Industry:
 - 3.2.2.1: Mining industry
 - 3.2.2.2: Food industry
 - 3.2.2.3: Energy
 - 3.2.2.4: Textile
 - 3.2.2.5: Manufacturing
 - 3.2.2.6: High technology industry
 - 3.2.2.7: Roads, buildings and related industry
 - 3.2.2.8: Metallurgy industry (Iron and steel,...)
 - 3.2.3: Services.
 - 3.2.3.1: Banking.
 - 3.2.3.1.1: Branch banking
 - 3.2.3.1.2: Overall activity
 - 3.2.3.1.3: Cross-country
 - 3.2.3.2: Transportation.
 - 3.2.3.2.1: Air
 - 3.2.3.2.2: Roads
 - 3.2.3.2.3: Sea and fluvial
 - 3.2.3.3: Telecommunication and postal services
 - 3.2.3.4: Computer related services (software,...)
 - 3.2.3.5: Insurance
 - 3.2.3.6: Retailing (Pharmacy, Restaurants, ...)
 - 3.3: For-profit and Not-for-profit:
 - 3.3.1: Industry
 - 3.3.2: Services
 - 3.3.3: Agriculture
 - 3.3.4: Health care
 - 3.3.5: Education

Second level (Field 2): Degree of imprecision in the data.

- 1: Cardinal data.
 - 1.1: Single-valued.
 - 1.2: Multi-valued bounded.
 - 1.2.1: Bounded uniformly distributed.
 - 1.2.2: Bounded non-uniformly distributed
 - 1.2.3: Fuzzy data
- 2: Ordinal data.
 - 2.1: Individual ranking.
 - 2.2: Categorizing data (clusters of DMUs).
- 3: Imprecise data.
 - 3.1: Mixture of individual ordinal and single-valued cardinal factors.
 - 3.2: Mixture of categorizing ordinal and single-valued cardinal factors.
 - 3.3: Imprecise data-all forms
- 4: Missing data

Key 2: Envelopment

First level (Field 3): Stochasticity of the frontier.

- 1: Deterministic frontier.
 - 1.1: Single deterministic
 - 1.2: Multiple deterministic
- 2: Stochastic frontier.
 - 2.1: Stochastic factors only.
 - 2.2: Stochastic factors.
 - 2.3: Stochastic multipliers and/or weights.
 - 2.4: More than one form of stochasticity.
- 3: Deterministic and stochastic.

Second level (Field 4): Special Restrictions:

- 0: No special restrictions.
- 1: Cone ratio.
- 2: Assurance region.
- 3: Non-discretionary variables.
- 4: Free disposal hull.
- 5: Stochastic restrictions and/or relaxations.
- 6: Other restrictions and/or relaxations.
- 7: Many simultaneous restrictions and/relaxations
- 8: Many restrictions/relaxations considered separately

Third level (Field 5): Orientation and Return to scale.

- 1: Oriented:
 - 1.1: Input oriented
 - 1.1.1: Constant return to scale.

- 1.1.2: Variable return to scale.
- 1.1.3: Both Constant and Variable return to scale are considered.
- 1.2: Output oriented
 - 1.2.1: Constant return to scale.
 - 1.2.2: Variable return to scale.
 - 1.2.3: Both Constant and Variable return to scale are considered.
- 1.3: Both Input oriented and Output oriented cases are considered.
- 2: Additive Modelling (combines both input and output orientations):
 - 2.1: Constant return to scale.
 - 2.2: Variable return to scale.
 - 2.3: Both Constant and Variable return to scale are considered.
- 3: Both oriented and additive modelling are considered separately.
- 4: Multiplicative modelling

Fourth level (Field 6): Convexity of the mathematical model.

- 1: Convex Linear model.
 - 1.1: Continuous linear programming model.
 - 1.2: Discrete or Mixed linear programming model.
 - 1.3: Fuzzy linear programming model.
 - 1.4: Chance constrained or stochastic linear programming model.
 - 1.5: Graphical presentation
- 2: Convex non-linear model.
 - 2.1: Polynomial hard problem.
 - 2.2: Non-polynomial hard problem
 - 2.3: Ratio Form.
- 3: Non-convex linear model.
 - 3.1: Graphical presentation
- 4: Non-convex non-linear model.

Fifth level (Field 7): Solving method.

- 0: No solving method proposed or standard method is used (without mention).
- 1: Single stage solving method.
 - 1.1: Exact method explicitly presented.
 - 1.2: Approximated method.
 - 1.3: Heuristic method.
 - 1.4: Meta-heuristic method.
 - 1.5: Graphical
- 2: Multi-stage.
 - 2.1: Exact method explicitly presented.
 - 2.2: Approximated method.
 - 2.3: Heuristic method.
 - 2.4: Meta-heuristic method.

Sixth level (Field 8): Efficiency measures provided by the solution.

- 1: Single-valued measures.
- 2: Multi-valued measures.
 - 2.1: Exact multi-valued measures
 - 2.2: Fuzzy multi-valued measures
- 3: Stochastic measures
 - 3.1: Stochastic single-valued measures
 - 3.2: Stochastic multi-valued measures

Key 3: Analysis.

First level (Field 9): Purpose

- 1: Prescriptive
- 2: Descriptive
- 3: Planning
- 4: Predicting and/or forecasting
- 5: Multi-purposes.

Second level (Field 10): Time horizon.

- 1: Single period analysis.
- 2: Multi-period analysis.
 - 2.1: Time windows.
 - 2.2: Malmquist index.
 - 2.3: Dynamic DEA modelling
 - 2.4: Total factor productivity analysis type.
 - 2.5: Other forms

Third Level (Field 11): Efficiency

- 1: Technical efficiency
 - 1.1: Technical and scale efficiencies
 - 1.2: Technical and scale efficiencies and congestion
- 2: Cost efficiency (Allocative and technical efficiencies)
- 3: Incentive efficiency (adapted from agency theory in game theory)
- 4: Different types of efficiency studied.

Fourth level (Field 12): Level of aggregation in the analysis for real world applications.

- 0: Not real world problem.
- 1: Unit level
- 2: Organization level.
- 3: System level.
- 4: Multi-level.
- 5: Cross-systems analysis
 - 5.1: National or Local level.
 - 5.2: Cross-country level.

Fifth level (Field 13): Sensitivity Analysis and Robustness:

- 0: No sensitivity analysis
- 1: Pre-optimal sensitivity analysis
- 2: Post-optimal Sensitivity Analysis
 - 2.1: Sensitivity of the measures to data characteristics:
 - 2.1.1: Sensitivity to model specifications (Factors, orientation, type of efficiency, ...)
 - 2.1.2: Sensitivity to sample size
 - 2.1.3: Sensitivity to sample spread (outliers, homogeneity, ...)
 - 2.2: Sensitivity of the measures to variations in factors values.
 - 2.3: Sensitivity to stochasticity in data.
 - 2.4: Sensitivity to restrictions/relaxations.
 - 2.5: Sensitivity of stochasticity in the frontier.
- 3: Robustness and stability of the results analysis (rankings, measures, ...).
- 4: More than one type of sensitivity analysis.
- 5: Other forms of sensitivity analysis

Sixth level (Field 14): Technique(s) used for sensitivity and robustness analysis:

- 0: No sensitivity analysis
- 1: Analytical analysis
- 2: Empirical analysis
- 3: Simulation:
 - 3.1: Monte Carlo.
 - 3.2: Bootstrapping.
 - 3.3: Least trimmed squares.
- 4: Statistical tests.
- 5: Econometric modelling.
- 6: Other techniques.
- 7: Combination of several techniques.

Key 4: Nature of the study and the methodology it uses:

First level (Field 15): Nature

- 1: Theoretical.
- 2: Application in:
 - 2.1: Finance
 - 2.2: Production and operations management
 - 2.3: Industrial organization
 - 2.4: Marketing
 - 2.5: Human resources management
- 3: Theory and its empirical validation
 - 3.1: Finance
 - 3.2: Production and operations management
 - 3.3: Industrial organization
 - 3.5: Marketing
 - 3.6: Human resources management

Second level (Field 16): Methodology

- 1: Paper having the form of general analysis (without mathematical modelling), literature survey, book or software review, comments, short reply and erratum.
- 2: DEA and/or its extensions.
- 3: Study comparing DEA with other methodologies used in the same context.
- 4: Methodology combining DEA with Economic Theory
 - 4.1: DEA and Micro-Economics/Firm Theory
 - 4.1.1: DEA and Production Theory
 - 4.1.2: DEA and Firm Theory
 - 4.2: DEA and Game Theory
 - 4.2.1: DEA and Agency Theory
 - 4.3: DEA and Econometrics Theory
- 5: Methodology combining DEA with other OR/MS techniques
 - 5.1: DEA and Goal Programming
 - 5.2: DEA and Multi Criteria Decision-Making
 - 5.3: DEA and Fuzzy Sets Theory
 - 5.4: DEA and Supply Chain Management
 - 5.5: DEA and Total Quality Management
 - 5.6: DEA and Production Management Techniques (Line Balancing, MRP)

- 5.7: DEA and Inventory Theory
- 5.8: DEA and Queuing Theory
- 5.9: DEA and Scheduling
- 5.10: DEA and Stochastic Programming
- 5.11: DEA and general forms of Mathematical Programming
- 5.12: DEA and Multi Objective Linear Programming
- 5.13: DEA and Network Theory
- 6: Methodology combining DEA with Statistic:
 - 6.1: DEA and Statistical Inference Theory
 - 6.2: DEA and Discriminant Analysis
 - 6.3: DEA and Cluster Analysis
 - 6.4: DEA and Statistical Testing
 - 6.5: DEA and Bootstrapping technique
- 7: Methodology combining DEA with Organization Theory
- 8: Methodology combining DEA with several other techniques or approaches
- 9: Comparative study for different combinations
- 10: Methodology combining DEA with Marketing Theory

Article: 1

Measuring the Efficiency of Decision Making Units

A. Charnes, W.W. Cooper and E. Rhodes

European Journal of Operational Research-1978

A nonlinear (nonconvex) programming model provides a new definition of efficiency for use in evaluating activities of not-for-profit entities participating in public programs. A scalar measure of the efficiency of each participating unit is thereby provided, along with methods for objectively determining weights by reference to the observational data for the multiple outputs and multiple inputs that characterize such programs. Equivalences are established to ordinary linear programming models for effecting computations. The duals to these linear programming models provide a new way for estimating extremal relations from observational data. Connections between engineering and economic approaches to efficiency are delineated along with new interpretations and ways of using them in evaluating and controlling managerial behavior in public programs.

As a subcase of the DEAN taxonomy it has therefore the following classification:

(0 / 0) : (11 / 0 / 121 / 11 / 11 / 1) : (3 / 1 / 1 / 0 / 0 / 0) : (1 / 2)

Article: 2

IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA

W.W. Cooper, K.S Park and G. Yu
Management Science-1999

Data Envelopment Analysis (DEA) is a nonparametric approach to evaluating the relative efficiency of decision making units (DMUs) that use multiple inputs to produce multiple outputs. An assumption underlying DEA is that all the data assume the form of specific numerical values. In some applications, however, the data may be imprecise. For instance, some of the data may be known only within specified bounds, while other data may be known only in terms of ordinal relations. DEA with imprecise data or, more compactly, the Imprecise Data Envelopment Analysis (IDEA) method developed in this paper permits mixtures of imprecisely- and exactly-known data, which the IDEA models transform into ordinary linear programming forms. This is carried even further in the present paper to comprehend the now extensively employed Assurance Region (AR) concepts in which bounds are placed on the variables rather than the data. We refer to this approach as AR-IDEA, because it replaces conditions on the variables with transformations of the data and thus also aligns the developments we describe in this paper with what are known as cone-ratio envelopments in DEA. As a result, one unified approach, referred to as the AR-IDEA model, is achieved which includes not only imprecise data capabilities but also assurance region and cone-ratio envelopment concepts.

Keywords: DEA Efficiency; Imprecise Data; Assurance Regions

As a subcase of the DEAN taxonomy this paper has the following classification:

(1 / 33) : (11 / 2 / 111 / 22 / 21 / 1) : (1 / 1 / 1 / 0 / 0 / 0) : (1 / 2)

Anexo B - Classificação dos *softwares* para aplicação em DEA

As Figuras seguintes resumem o estudo de Barr⁵¹. Fonte: Barr (2004).

	COMMERCIAL				NON-COMMERCIAL			
	DEA Solver Pro	Frontier Analyst	OnFront	Warwick DEA	DEA Excel Solver	DEAP	EMS	Pioneer
	Version 4.0	3.1.5	2.02	1.0	1.0	2.1	1.3.0	2.0
From	SATTECH	Barxia Software	EMQC	Warwick Univ.	Zhu	Colletti	Scheel	Barr, McLeod
A. Models								
1 CCR/CRS	●	●	●	●	●	●	●	●
2 BCC/VRS	●	●	●	●	●	●	●	●
3 NIRS, NDRS, GRS	●	●	●	●	●	●	●	●
4 Additive/slack-based method	●	●	●	●	●	●	●	●
5 Malmquist	●	●	●	●	●	●	●	●
6 Non-convex	●	●	●	●	●	●	●	●
7 Non-radial	●	●	●	●	●	●	●	●
8 Preference-structure	●	●	●	●	●	●	●	●
9 Undesirable-measure	●	●	●	●	●	●	●	●
10 Context-dependant	●	●	●	●	●	●	●	●
11 Free-disposal hull (FDH)	●	●	●	●	●	●	●	●
12 Cost efficiency	●	●	●	●	●	●	●	●
13 Revenue efficiency	●	●	●	●	●	●	●	●
14 Profit, revenue/cost efficiency	●	●	●	●	●	●	●	●
15 Target, mixed improvement	●	●	●	●	●	●	●	●
16 Capacity utilization	●	●	●	●	●	●	●	●
17 Variable-benchmark	●	●	●	●	●	●	●	●
18 Fixed-benchmark	●	●	●	●	●	●	●	●
19 Minimum-efficiency	●	●	●	●	●	●	●	●
20 Value chain	●	●	●	●	●	●	●	●
21 Weak disposability	●	●	●	●	●	●	●	●
22 New cost, revenue, profit	●	●	●	●	●	●	●	●
23 Congestion	●	●	●	●	●	●	●	●
24 Scale elasticity	●	●	●	●	●	●	●	●

Figura 43 - Critérios de avaliação: Categoria A

B. Features								
1 Orientation (i/o) control	●	●	●	●	●	●	●	●
2 Window/multi-period analysis	●	●	●	●	●	●	●	●
3 Weight constraints	Conical, UB, LB	UB, LB	●	Conical CRS	●	●	Conical	Conical
4 Super-efficiency scores	●	●	●	●	●	●	●	●
5 Non-discretionary/fixed factors	●	●	●	●	●	●	●	●
6 Categorical variables	●	●	●	●	●	●	●	●
7 Variable priorities	●	●	●	●	●	●	●	●
8 Sensitivity analysis	●	●	●	●	●	●	●	●
9 Multi-phase/multi-step	●	●	●	●	●	●	●	●
10 Nested frontiers (tiers, layers)	●	●	●	●	●	●	●	●
11 Disposability controls	●	●	●	●	●	●	●	●
12 Scenario comparison	●	●	●	●	●	●	●	●
13 Efficiency components analysis	●	●	●	●	●	●	●	●
14 Zero substitution	●	●	●	●	●	●	●	●
15 Benchmarking comparisons	●	●	●	●	●	●	●	●

● Included/available ● Not included/not available ○ Limited capability

Figura 44 - Critérios de avaliação: Categoria B

⁵¹ Este grupo de programas, é apenas uma amostra do que se pode encontrar para resolver problemas recorrendo á ferramenta DEA. Contudo foram um guia e uma base de estudo interessante para esta dissertação.

	COMMERCIAL				NON-COMMERCIAL			
	DEA Solver Pro	Frontier Analyst	OnFront	Warwick DEA	DEA Excel Solver	DEAP	EMS	Pioneer
	Version 4.0	3.1.5	2.0	1.0	1.0	2.1	1.3.0	2.0
From	SAITECH	Barvia Software	EMQC	Warwick Univ.	Zhu	Colletti	Scheel	Barr, McLeod
C. Platform and Interoperability								
1 Platform(s)	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
2 Input file types: ☑=Excel, TXT=text file, Clip=clipboard, select=current SS's selection, SPSS=SPSS data file, manual=direct manual entry	SS, manual	TXT, Clip, SS, select, SPSS, manual	TXT, Clip, manual	TXT	SS, manual	TXT	TXT, SS	TXT
3 Output file types	SS	SS, Clip, TXT, PDF, HTML, ☑	TXT	TXT	SS	TXT	TXT, Clip	TXT
D. User Interface								
1 GUI	☑	●	●	●	☑	.	●	.
2 Spreadsheet format	☑	●	●	●	☑	.	.	.
3 Interactive data manip	☑	●	●	●	☑	.	.	.
4 Individual observation editing	☑	●	●	●	☑	.	.	.
5 DMU, i/o factor subset control	☑	●	●	●	☑	.	○	.
6 Data filters	.	●	.	.	.	.	.	.
7 Data and results sorting	☑	●	●	○	☑	.	.	.
E. Reporting								
1 # standard reports	12	5	9	5	3	8	2	3
2 Custom reports	☑	◎	.	○	☑	.	.	.
3 # std. graphs and charts	4	12	.	.	.	.	.	.
4 Custom charts	☑	○	●	.	☑	.	.	.
5 Efficiency scores report	●	●	●	●	●	●	●	●
6 Projected/target factors report	●	●	.	●	●	●	.	●
7 Optimal factor weights report	●	●	●	●	●	●	●	●
8 Efficient reference sets report	●	●	●	●	●	●	●	●
9 Slacks report	●	●	.	●	●	.	.	●
10 RTS analysis	●	.	●	●	●	.	.	.
11 Cross-efficiencies	.	◎	.	.	.	.	.	.

Figura 45 - Critérios de avaliação: Categorias C, D e E

F. Documentation and Support								
1 Tutorial (pages)	.	26	.	.	.	.	.	.
2 Users guide (pages)	.	99	38	19	43	49	12	2
3 Reference manual (pages)	43	.	52	◎	☑	.	.	.
4 Built-in help	.	●	●	.	.	.	.	.
5 Technical support	●	●	.	●	.	.	.	.
6 Web site tech info	.	●	.	.	●	.	.	.
G. Testing								
1 Time 431 dmU, OCRI (nmss)	0.17	0.05	0.06	0.53	2.30	<0.01	0.11	<0.01
2 Time 431 dmU, BOC, superE	0.16	.	.	18.45	4.40	.	0.12	<0.01
H. Availability								
1 Free demo available	☑	●	●	●	.	●	●	●
2 Comm license cost	\$1,600	£395 - £2395	\$1,750	£200 - £500	☑	\$0	.	.
3 Academic cost	\$800	£195 - £595	\$750	£800+ (site)	☑	\$0	\$0	\$0
4 Maintenance available	.	●	●	●	.	.	.	.
☑ Microsoft Windows ☑ DOS ● Included/available ◎ Optional ☑ Uses Microsoft Excel as a GUI ☑ Unix . Not included/not available ☑ Included with book purchase ○ Limited capability								

Figura 46 - Critérios de avaliação: Categoria F, G e H

Anexo C - Indicadores de colaboração da rede colaborativa Virtuelle Fabrik.

Fonte: Abreu (2006).

Nome	Natureza	Expressão
Benefícios sociais (SCB)⁴⁸	Determinação do valor dos benefícios fornecidos por um actor a_i , num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, em relação a um conjunto de actores.	$SCB_i = \sum_{j=1}^N CB_{ij} \quad i \neq j$ N - número de actores considerados
Benefícios externos (EB)⁴⁹	Determinação do valor dos benefícios recebidos por um actor a_i , num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, com origem num conjunto de actores.	$EB_i = \sum_{j=1}^N RB_{ji} \quad i \neq j$ N - número de actores considerados
Benefícios individuais (IGB)⁵⁰	Valor dos benefícios que um actor a_i obtém para si próprio, num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo.	$IGB_i = SB_i + EB_i$
Benefícios proprietários (TIB)⁵¹	Valor dos benefícios que um actor a_i produz, num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo.	$TIB_i = SB_i + SCB_i$
Total de benefícios fornecidos (TCB)⁵²	Valor total dos benefícios sociais de um conjunto de actores. Este indicador tanto pode ser utilizado ao nível da VO como ao nível de toda a VBE.	$TCB = \sum_{j=1}^N SCB_j$ N - número de actores considerados
Total de benefícios recebidos (TRB)⁵³	Valor total dos benefícios externos de um conjunto de actores. Este indicador tanto pode ser utilizado ao nível da VO como ao nível de toda a VBE.	$TRB = \sum_{j=1}^N EB_j$ N - número de actores considerados
Total de benefícios produzidos (TNB)⁵⁴	Valor total dos benefícios produzidos por um conjunto de actores que pode ser, por exemplo, numa VO específica, durante um intervalo de tempo.	$TNB = \sum_{i=1}^N (SB_i + SCB_i)$ N - número de actores considerados

Rácio de	Este rácio é um macro-indicador que permite medir as
-----------------	--

⁴⁸ SCB – *Social Contribution Benefits*.

⁴⁹ EB – *External Benefits*.

⁵⁰ TIB – *Total Individual Benefits*.

⁵¹ IGB – *Individual Generated Benefits*.

⁵² TCB – *Total Contributed Benefits*.

⁵³ TRB – *Total Received Benefits*.

⁵⁴ TNB – *Total Network Benefits*.

progresso (PR)⁵⁵	<p>variações dos benefícios produzidos num conjunto de actores, em dois intervalos de tempo distintos, se:</p> $PR_{[t_1, t_2]} = \begin{cases} = 1 & \text{Não existe alteração no TNB} \\ > 1 & \text{aumento do TNB} \\ < 1 & \text{redução do TNB} \end{cases}$	$PR_{[t_1, t_2]} = \frac{TNB_2}{TNB_1} \quad t_2 > t_1$
Capital Social (SC)⁵⁶	<p>O capital social pode ser definido como o aumento dos recursos disponíveis em relação a um actor ou grupo de actores, devido ao facto de estes serem membros de uma rede onde as relações estão de alguma forma, institucionalizadas. Em termos de análise das redes sociais, a determinação da densidade da rede é uma boa aproximação para o cálculo do capital social, admitindo que as relações entre os nós não são direccionais, isto é, não existe diferença entre o fornecedor e o receptor.</p>	$SC = \frac{2R}{N \times (N - 1)}$ <p>R – número de relações de cooperação N – número de actores considerados</p>
Rácio de desenvolvimento cooperativo (CDR)⁵⁷	<p>Este rácio procura medir a evolução dos benefícios da cooperação em relação a um conjunto de actores, em dois intervalos de tempo distintos.</p> $CDR_{[t_1, t_2]} = \begin{cases} = 1 & \text{Não existe alteração} \\ > 1 & \text{aumento dos benefícios da cooperação} \\ < 1 & \text{redução dos benefícios da cooperação} \end{cases}$	$CDR_{[t_1, t_2]} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N SCB_i \right)_2}{\left(\sum_{i=1}^N SCB_i \right)_1}$ <p>onde $t_2 > t_1$</p>
Nível de colaboração (Col)	<p>A determinação deste indicador permite medir o nível de participação efectiva de um actor em processos de colaboração solicitados por terceiros. Em termos de análise de redes sociais, corresponde ao grau exterior de um actor.</p>	$Col = \text{Grau exterior do actor } ag_i$
Índice relativo da contribuição individual (ACI)⁵⁸	<p>Este índice permite medir a “importância relativa” de um actor em relação a um conjunto de actores, num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo. Um actor com um valor de (ACI) próximo de zero é um actor pouco relevante no contexto do conjunto de actores considerados. No entanto, a sua importância é mais bem expressa através do rácio (ICI).</p>	$ACI_i = \frac{\text{Grau exterior do actor } ag_i}{N - 1}$ <p>N – número de actores considerados</p>
Índice de contribuição individual (ICI)⁵⁹	<p>Este índice tem como objectivo medir, em termos percentuais, a distribuição do esforço cooperativo, ou seja, o contributo de um actor em relação a um conjunto de actores, num determinado contexto. Através do cálculo deste rácio é possível medir o “nível de solidariedade” de um actor em relação a um conjunto de actores.</p>	$ICI_i = \frac{SCB_i}{\sum_{i=1}^N SCB_i}$ <p>N – número de actores considerados</p>
Nível de prestígio	<p>Nas redes sociais a popularidade/prestígio corresponde ao grau interior de um actor, na medida</p>	

⁵⁵ PR – Progress Ratio.

⁵⁶ SC – Social Capital.

⁵⁷ CDR – Cooperative Development Ratio.

⁵⁸ ACI – Apparent individual Contribution Index

⁵⁹ ICI – Individual Contribution Index.

	em que os actores tendem a estabelecer relações com os actores com maior prestígio.	$P = \text{Grau interior do actor } ag_i$
Índice relativo individual dos benefícios recebidos (ABI)⁶⁰	Este rácio tem como objectivo medir, em termos percentuais, para um determinado actor, o seu nível de "popularidade/prestígio", num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, em relação a um conjunto de actores.	$ABI_i = \frac{\text{Grau interior do actor } ag_i}{N - 1}$ <p>N – número de actores considerados</p>
Índice dos benefícios recebidos (IBI)⁶¹	Este rácio permite determinar, em termos percentuais, como é que o valor total dos benefícios fornecidos por um conjunto de actores, num determinado contexto ou num dado intervalo de tempo, foram distribuídos pelos vários actores	$IBI_i = \frac{EB_i}{\sum_{i=1}^N EB_i}$ <p>N – número de actores considerados</p>
Índice de reciprocidade (RI)⁶²	<p>Este indicador permite analisar o estado da relação de reciprocidade em relação a um outro actor ou conjunto de actores, num dado momento. Onde, podemos identificar três estados distintos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado positivo – (existência de um crédito social – (C)) esta situação ocorre quando o valor das contribuições é superior ao valor das retribuições. Quando um actor dispõe de crédito social pode dizer-se que este exibe um comportamento altruísta perante o grupo de actores. • Estado negativo – (existência de um débito Social – (D)) - Esta situação ocorre quando o valor das contribuições é inferior ao valor das retribuições. Quando um actor dispõe de débito social pode dizer-se que este exibe um comportamento egoísta em relação ao grupo de actores. • Estado de equilíbrio – quando o valor dos créditos e das dívidas sociais são semelhantes ou então são ambos nulos. 	$RI = \sum_{j=1}^N CB_{ij} - \sum_{j=1}^N RB_j$ <p>N – número de actores considerados</p> <p>Onde:</p> $RI \begin{cases} < 0 \text{ comportamento egoísta} \\ = 0 \text{ estado de equilíbrio} \\ > 0 \text{ comportamento altruísta} \end{cases}$

Anexo D - Tabelas e Figuras complementares á análise de resultados

4.3 Análise de Resultados:

4.3.1 Análise dos resultados obtidos para o modelo CCR

I. Orientação *Output*

Units		CCR Output		
Unit name	Score	Efficient	Condition	
A	70.0%			●
B	47.0%			●
C	100.0%	✓		●
D	51.5%			●
E	20.2%			●
F	100.0%	✓		●
G	60.4%			●
H	22.6%			●
I	59.4%			●
J	100.0%	✓		●
K	100.0%	✓		●
L	76.7%			●

Figura 47 - Índices de eficiência (com sistema traffic light) CCR – Output

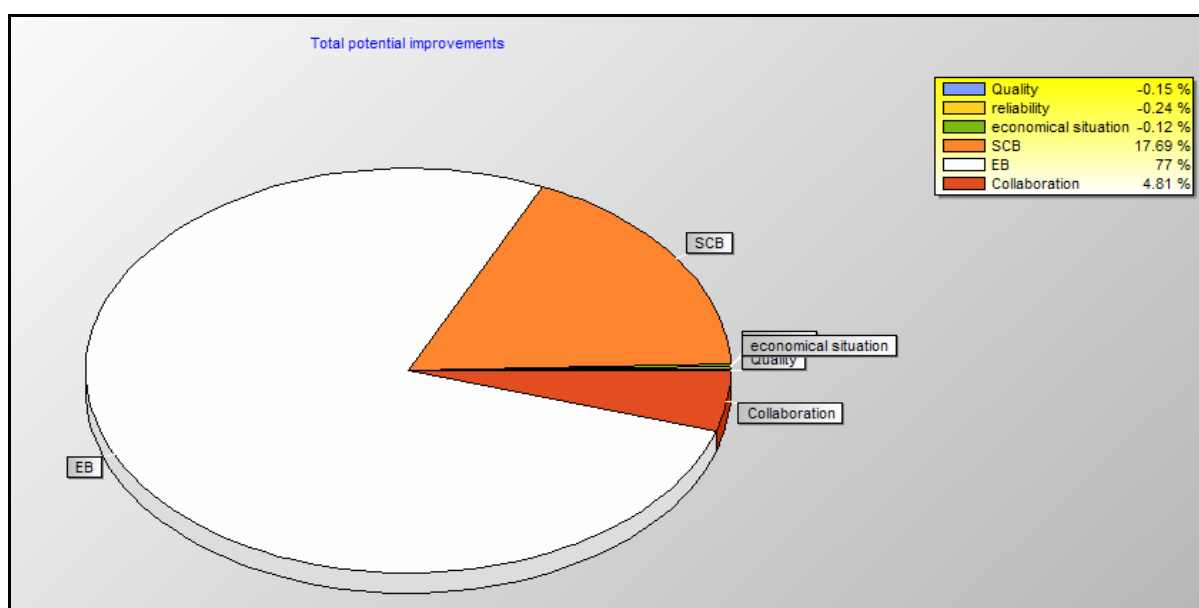


Figura 48 - Gráfico das melhorias totais (*Total potencial improvements*) CCR - Output

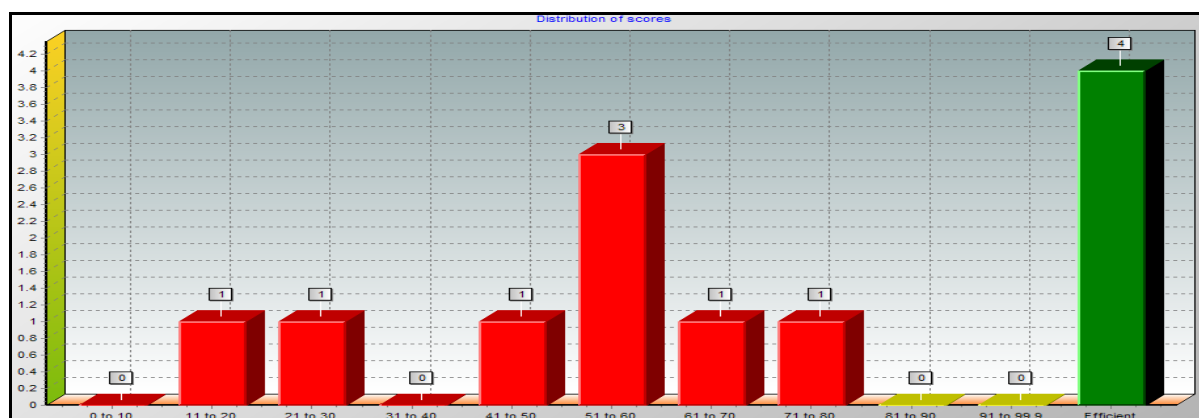


Figura 49 - Frequências absolutas dos *índices* de eficiência CCR – Output

Tabela 36 - Resultados CCR - Output

DMU	Modelo CCR	Score	RTS	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade
A	Output	70	0	2	6
B	Output	46.96	0	4	6
C	Output	100	0	2	6
D	Output	51.5	0	5	6
E	Output	20.2	0	5	6
F	Output	100	0	2	6
G	Output	60.43	0	5	6
H	Output	22.58	0	4	6
I	Output	59.38	0	6	6
J	Output	100	0	6	6
K	Output	100	0	6	6
L	Output	76.69	0	3	5
DMU	Modelo CCR	Actual Situação Económica	Actual SCB	Actual EB	Actual Colaboração
A	Output	5	125	160	5
B	Output	5	130	180	3
C	Output	5	70	280	2
D	Output	6	132	240	3
E	Output	6	85	2	2
F	Output	6	490	240	9
G	Output	4	175	47	6
H	Output	4	11	65	2
I	Output	5	310	180	4
J	Output	4	336	460	11
K	Output	5	580	540	5
L	Output	3	119	210	3

Tabela 37 - Resultados CCR - Output (continuação 1)

DMU	Modelo CCR	Target Qualidade	Target Fiabilidade	Target Situação Económica
A	Output	2	5.25	5
B	Output	4	6	5
C	Output	2	6	5
D	Output	5	6	5.22
E	Output	3.8	6	5.1
F	Output	2	6	6
G	Output	5	5.57	4
H	Output	4	5.14	4
I	Output	5.31	6	5
J	Output	6	6	4
K	Output	6	6	5
L	Output	3	3.87	3

Tabela 38 - Resultados CCR - Output (continuação 2)

DMU	Modelo CCR	Target SCB	Target EB	Target Colaboração
A	Output	367.66	228.57	7.14
B	Output	364.11	383.33	6.39
C	Output	70	280	2
D	Output	547	466	5.83
E	Output	420.73	338.95	9.9
F	Output	490	240	9
G	Output	334	395.71	9.93
H	Output	332	331.43	8.86
I	Output	522.02	474.04	6.74
J	Output	336	460	11
K	Output	580	540	5
L	Output	208.76	273.84	3.91

Tabela 39 - Resultados CCR - Output (continuação 3)

DMU	Modelo CCR	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent Situação Económica
A	output	0	-12.5	0
B	output	0	0	0
C	output	0	0	0
D	output	0	0	-12.9
E	output	-24	0	-15
F	output	0	0	0
G	output	0	-7.1	0
H	output	0	-14.3	0
I	output	-11.6	0	0
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	-22.6	0

Tabela 40 - Resultados CCR - Output (continuação 4)

DMU	Modelo CCR	Percent SCB	Percent EB	Percent Colaboração
A	output	194.1	42.9	42.9
B	output	180.1	113	113
C	output	0	0	0
D	output	314.4	94.2	94.2
E	output	395	16847.7	395
F	output	0	0	0
G	output	90.9	741.9	65.5
H	output	2918.2	409.9	342.9
I	output	68.4	163.4	68.4
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	75.4	30.4	30.4

Tabela 41 - Resultados CCR - Output (continuação 5)

DMU	Modelo CCR	Diff Qualidade	Diff Fiabilidade	Diff Situação Económica
A	output	0	-0.75	0
B	output	0	0	0
C	output	0	0	0
D	output	0	0	-0.78
E	output	-1.2	0	-0.9
F	output	0	0	0
G	output	0	-0.43	0
H	output	0	-0.86	0
I	output	-0.69	0	0
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	-1.13	0

DMU	Modelo CCR	Diff SCB	Diff EB	Diff Colaboração
A	output	242.66	68.57	2.14
B	output	234.11	203.33	3.39
C	output	0	0	0
D	output	415	226	2.83
E	output	335.73	336.95	7.9
F	output	0	0	0
G	output	159	348.71	3.93
H	output	321	266.43	6.86
I	output	212.02	294.04	2.74
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	89.76	63.84	0.91

Tabela 42 - Resultados CCR - Output (continuação 6)

DMU	Modelo CCR	Refs	Peers	IO Qualidade	IO Fiabilidade
A	Output	0	3	50	0
B	Output	0	4	65	7.1
C	Output	5	0	100	0
D	Output	0	3	69.4	30.6
E	Output	0	2	0	100
F	Output	8	0	0	100
G	Output	0	2	54	0
H	Output	0	2	48.4	0
I	Output	0	3	0	70.8
J	Output	8	0	27.3	72.7
K	Output	5	0	0	100
L	Output	0	3	69.8	0

Tabela 43 - Resultados CCR - Output (continuação 7)

DMU	Modelo CCR	<i>IO Situação Económica</i>	<i>IO SCB</i>	<i>IO EB</i>	<i>IO Colaboração</i>
A	Output	50	0	76.2	23.8
B	Output	27.8	0	86.7	13.3
C	Output	0	0	96.1	3.9
D	Output	0	0	93.3	6.7
E	Output	0	35.6	0	64.4
F	Output	0	50.9	7.3	41.7
G	Output	46	0	0	100
H	Output	51.6	0	0	100
I	Output	29.2	69.9	0	30.1
J	Output	0	0	0	100
K	Output	0	100	0	0
L	Output	30.2	0	89.5	10.5

Tabela 44 - Resultados CCR - Output (continuação 8)

DMU	Modelo CCR	<i>Primal Qualidade</i>	<i>Primal Fiabilidade</i>	<i>Primal Situação Económica</i>
A	Output	214.3	0	85.7
B	Output	207.8	15.2	71.1
C	Output	300	0	0
D	Output	161.7	59.4	0
E	Output	0	495	0
F	Output	0	100	0
G	Output	107.1	0	114.3
H	Output	321.4	0	342.9
I	Output	0	119.3	59
J	Output	27.3	72.7	0
K	Output	0	100	0
L	Output	182	0	78.8

Tabela 45 - Resultados CCR - Output (continuação 9)

DMU	Modelo CCR	<i>Primal SCB</i>	<i>Primal EB</i>	<i>Primal Colaboração</i>
A	Output	0	257.1	52.4
B	Output	0	260	48.9
C	Output	0	185.3	21.6
D	Output	0	210	24.4
E	Output	242.7	0	354.4
F	Output	60.3	16.5	51
G	Output	0	0	183.3
H	Output	0	0	550
I	Output	130.7	0	82.8
J	Output	0	0	100
K	Output	100	0	0
L	Output	0	230.2	38.4

Tabela 46 - Resultados CCR - Output (continuação 10)

DMU	Modelo CCR	L-Peer Qualidade	L-Peer Fiabilidade	L-Peer Situação Económica	L-Peer SCB
A	Output	C	F	J	
B	Output	C	F	J	K
C	Output	C			
D	Output	C	F	K	
E	Output	F	J		
F	Output	F			
G	Output	F	J		
H	Output	F	J		
I	Output	F	J	K	
J	Output	J			
K	Output	K			
L	Output	C	J	K	

II. Orientação input

Units		CCR Input		
Unit name	Score		Efficient	Condition
1		70.0%		
10		100.0%	✓	
13		100.0%	✓	
14		76.7%		
2		47.0%		
3		100.0%	✓	
4		51.5%		
5		20.2%		
6		100.0%	✓	
7		60.4%		
8		22.6%		
9		59.4%		

Figura 50 - Índices de eficiência (com sistema traffic light) CCR – Input

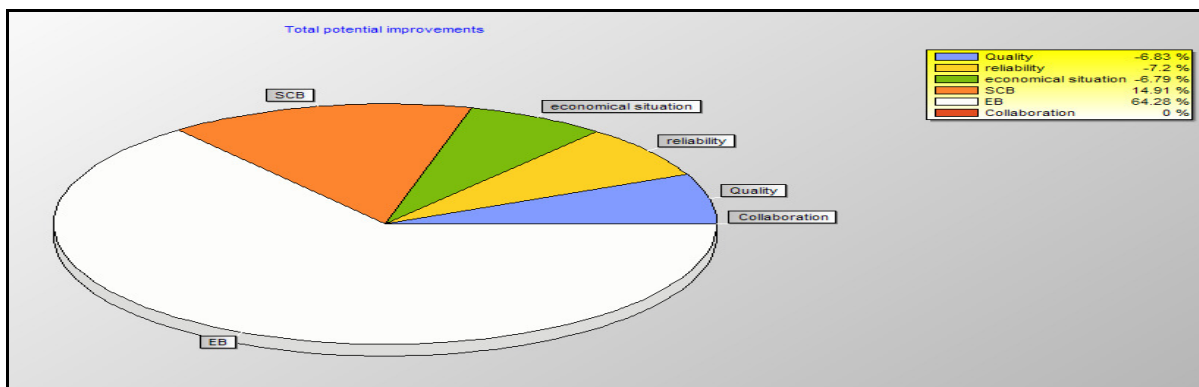


Figura 51 - Gráfico das melhorias totais (Total potencial improvements) CCR - Input

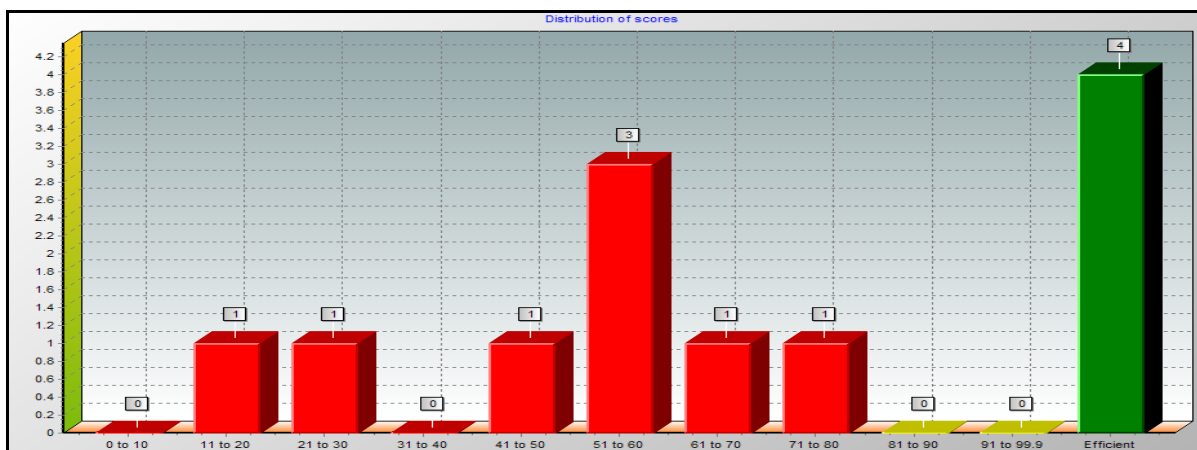


Figura 52 - Frequências absolutas dos índices de eficiência CCR – Input

Tabela 47 - Resultados CCR - Input

DMU	Modelo CCR	Score	RTS	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade
A	input	70	0	2	6
B	input	46.96	0	4	6
C	input	100	0	2	6
D	input	51.5	0	5	6
E	input	20.2	0	5	6
F	input	100	0	2	6
G	input	60.43	0	5	6
H	input	22.58	0	4	6
I	input	59.38	0	6	6
J	input	100	0	6	6
K	input	100	0	6	6
L	input	76.69	0	3	5

Tabela 48 - Resultados CCR - Input (continuação 1)

DMU	Modelo CCR	Actual Situação Económica	Actual SCB	Actual EB	Actual Colaboração
A	input	5	125	160	5
B	input	5	130	180	3
C	input	5	70	280	2
D	input	6	132	240	3
E	input	6	85	2	2
F	input	6	490	240	9
G	input	4	175	47	6
H	input	4	11	65	2
I	input	5	310	180	4
J	input	4	336	460	11
K	input	5	580	540	5
L	input	3	119	210	3

Tabela 49 - Resultados CCR - Input (continuação 2)

DMU	Modelo CCR	Target Qualidade	Target Fiabilidade	Target Situação Económica
A	input	1.4	3.67	3.5
B	input	1.88	2.82	2.35
C	input	2	6	5
D	input	2.58	3.09	2.69
E	input	0.77	1.21	1.03
F	input	2	6	6
G	input	3.02	3.37	2.42
H	input	0.9	1.16	0.9
I	input	3.15	3.56	2.97
J	input	6	6	4
K	input	6	6	5
L	input	2.3	2.97	2.3

DMU	Modelo CCR	Target SCB	Target EB	Target Colaboração
A	input	257.36	160	5
B	input	170.97	180	3
C	input	70	280	2
D	input	281.72	240	3
E	input	85	68.48	2
F	input	490	240	9
G	input	201.84	239.14	6
H	input	74.97	74.84	2
I	input	310	281.5	4
J	input	336	460	11
K	input	580	540	5
L	input	160.09	210	3

Tabela 50 - Resultados CCR - Input (continuação 3)

DMU	Modelo CCR	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent Situação Económica
A	input	-30	-38.8	-30
B	input	-53	-53	-53
C	input	0	0	0
D	input	-48.5	-48.5	-55.2
E	input	-84.6	-79.8	-82.8
F	input	0	0	0
G	input	-39.6	-43.9	-39.6
H	input	-77.4	-80.6	-77.4
I	input	-47.5	-40.6	-40.6
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	-23.3	-40.7	-23.3

Tabela 51 - Resultados CCR - Input (continuação 4)

DMU	Modelo CCR	Percent SCB	Percent EB	Percent Colaboração
A	input	105.9	0	0
B	input	31.5	0	0
C	input	0	0	0
D	input	113.4	0	0
E	input	0	3323.9	0
F	input	0	0	0
G	input	15.3	408.8	0
H	input	581.5	15.1	0
I	input	0	56.4	0
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	34.5	0	0

Tabela 52 - Resultados CCR - Input (continuação 5)

DMU	Modelo CCR	Diff Qualidade	Diff Fiabilidade	Diff Situação Económica
A	input	-0.6	-2.33	-1.5
B	input	-2.12	-3.18	-2.65
C	input	0	0	0
D	input	-2.42	-2.91	-3.31
E	input	-4.23	-4.79	-4.97
F	input	0	0	0
G	input	-1.98	-2.63	-1.58
H	input	-3.1	-4.84	-3.1
I	input	-2.85	-2.44	-2.03
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	-0.7	-2.03	-0.7

Tabela 53 - Resultados CCR - Input (continuação 6)

DMU	Modelo CCR	Diff SCB	Diff EB	Diff Colaboração
A	input	132.36	0	0
B	input	40.97	0	0
C	input	0	0	0
D	input	149.72	0	0
E	input	0	66.48	0
F	input	0	0	0
G	input	26.84	192.14	0
H	input	63.97	9.84	0
I	input	0	101.5	0
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	41.09	0	0

Tabela 54 - Resultados CCR - Input (continuação 7)

DMU	Modelo CCR	IO Cont			
		<i>Refs</i>	<i>Peers</i>	<i>Qualidade</i>	<i>IO Cont Fiabilidade</i>
A	input	0	3	50	0
B	input	0	4	65	7.1
C	input	5	0	46.4	0
D	input	0	3	69.4	30.6
E	input	0	2	0	100
F	input	8	0	16.2	0
G	input	0	2	54	0
H	input	0	2	48.4	0
I	input	0	3	0	70.8
J	input	8	0	58.4	0
K	input	5	0	41	0
L	input	0	3	69.8	0

Tabela 55 - Resultados CCR - Input (continuação 8)

DMU	Modelo CCR	IO Cont			
		<i>Situação Económica</i>	<i>SCB</i>	<i>EB</i>	<i>Colaboração</i>
A	input	50	0	76.2	23.8
B	input	27.8	0	86.7	13.3
C	input	53.6	0	100	0
D	input	0	0	93.3	6.7
E	input	0	35.6	0	64.4
F	input	83.8	100	0	0
G	input	46	0	0	100
H	input	51.6	0	0	100
I	input	29.2	69.9	0	30.1
J	input	41.6	0	0	100
K	input	59	100	0	0
L	input	30.2	0	89.5	10.5

Tabela 56 - Resultados CCR - Input (continuação 9)

DMU	Modelo CCR	Primal		
		<i>Qualidade</i>	<i>Fiabilidade</i>	<i>Situação Económica</i>
A	input	150	0	60
B	input	97.6	7.1	33.4
C	input	139.3	0	64.3
D	input	83.3	30.6	0
E	input	0	100	0
F	input	48.5	0	83.8
G	input	64.7	0	69.1
H	input	72.6	0	77.4
I	input	0	70.8	35
J	input	58.4	0	62.3
K	input	41	0	70.8
L	input	139.5	0	60.5

Tabela 57 - Resultados CCR - Input (continuação 10)

DMU	Modelo CCR	Primal SCB	Primal EB	Primal Colaboração
A	input	0	180	36.7
B	input	0	122.1	23
C	input	0	192.9	0
D	input	0	108.2	12.6
E	input	49	0	71.6
F	input	118.4	0	0
G	input	0	0	110.8
H	input	0	0	124.2
I	input	77.6	0	49.2
J	input	0	0	100
K	input	100	0	0
L	input	0	176.5	29.5

Tabela 58 - Resultados CCR - Input (continuação 11)

DMU	Modelo CCR	L-Peer Qualidade	L-Peer Fiabilidade	L-Peer Situação Económica	L-Peer SCB
A	input	C	F	J	
B	input	C	F	J	K
C	input	C			
D	input	C	F	K	
E	input	F	J		
F	input	F			
G	input	F	J		
H	input	F	J		
I	input	F	J	K	
J	input	J			
K	input	K			
L	input	C	J	K	

4.2.3.2 Análise dos resultados obtidos para o modelo BCC

I.Orientação Output

Units		BCC Output			
Unit name	Score	Efficient	Condition	Scale	
A	100.0%	✓	●	→	
B	47.0%		●	↓	
C	100.0%	✓	●	→	
D	51.5%		●	↓	
E	20.2%		●	↑	
F	100.0%	✓	●	→	
G	65.2%		●	↑	
H	27.0%		●	↑	
I	59.4%		●	↓	
J	100.0%	✓	●	→	
K	100.0%	✓	●	→	
L	100.0%	✓	●	→	

Figura 53 - Índices de eficiência (com sistema traffic light) BCC - Output

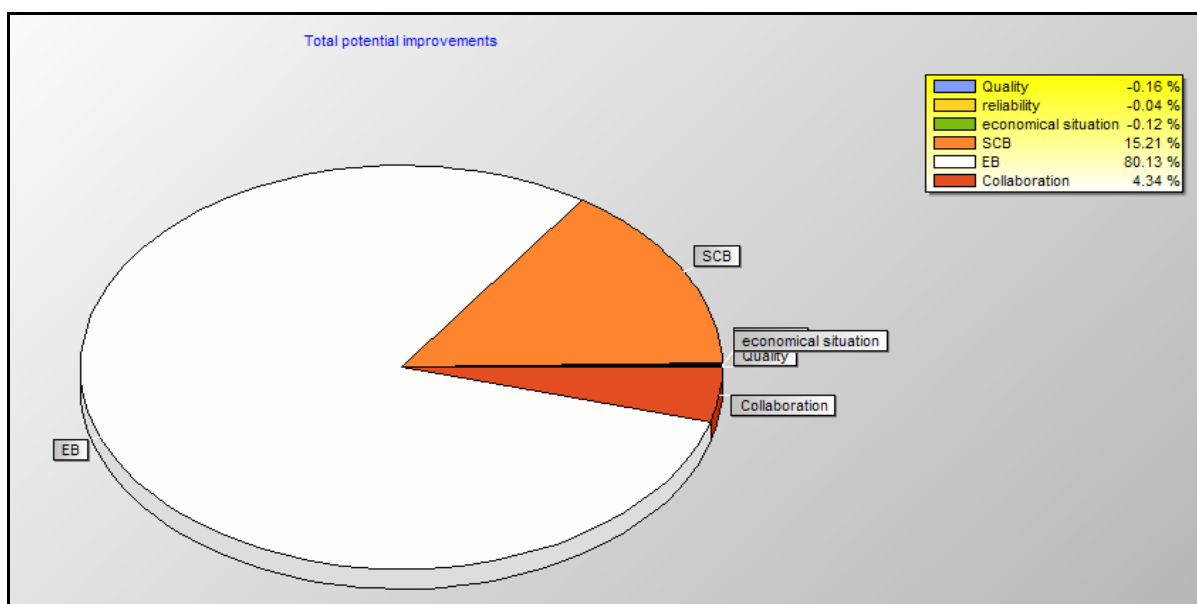


Figura 54 - Gráfico das melhorias totais(*Total potencial improvements*) BCC – Output

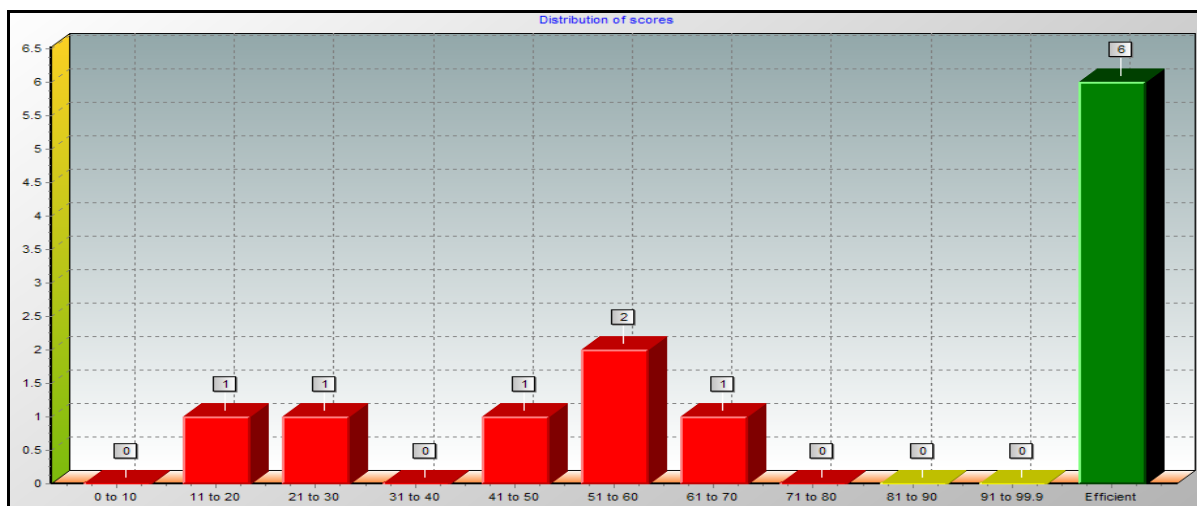


Figura 55 - Frequências absolutas dos índices de eficiência BCC – Output

Tabela 59 - Resultados BCC - Output

DMU	Modelo BCC	Score	RTS	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade
A	Output	100	0	2	6
B	Output	46.96	1	4	6
C	Output	100	0	2	6
D	Output	51.5	1	5	6
E	Output	20.2	-1	5	6
F	Output	100	0	2	6
G	Output	65.22	-1	5	6
H	Output	27.03	-1	4	6
I	Output	59.38	1	6	6
J	Output	100	0	6	6
K	Output	100	0	6	6
L	Output	100	0	3	5

Tabela 60 - Resultados BCC - Output (continuação 1)

DMU	Modelo BCC	<i>Actual Situação Económica</i>	<i>Actual SCB</i>	<i>Actual EB</i>	<i>Actual Colaboração</i>
A	Output	5	125	160	5
B	Output	5	130	180	3
C	Output	5	70	280	2
D	Output	6	132	240	3
E	Output	6	85	2	2
F	Output	6	490	240	9
G	Output	4	175	47	6
H	Output	4	11	65	2
I	Output	5	310	180	4
J	Output	4	336	460	11
K	Output	5	580	540	5
L	Output	3	119	210	3

Tabela 61 - Resultados BCC - Output (continuação 2)

DMU	Modelo BCC	<i>Target Qualidade</i>	<i>Target Fiabilidade</i>	<i>Target Situação Económica</i>
A	Output	2	6	5
B	Output	4	6	5
C	Output	2	6	5
D	Output	5	6	5.22
E	Output	3.8	6	5.1
F	Output	2	6	6
G	Output	5	5.8	4
H	Output	4	5.6	4
I	Output	5.31	6	5
J	Output	6	6	4
K	Output	6	6	5
L	Output	3	5	3

Tabela 62 - Resultados BCC - Output (continuação 3)

DMU	Modelo BCC	<i>Target SCB</i>	<i>Target EB</i>	<i>Target Colaboração</i>
A	Output	125	160	5
B	Output	364.11	383.33	6.39
C	Output	70	280	2
D	Output	547	466	5.83
E	Output	420.73	338.95	9.9
F	Output	490	240	9
G	Output	308	388	9.2
H	Output	280	316	7.4
I	Output	522.02	474.04	6.74
J	Output	336	460	11
K	Output	580	540	5
L	Output	119	210	3

Tabela 63 - Resultados BCC - Output (continuação 4)

DMU	Modelo BCC	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent Situação Económica
A	output	0	0	0
B	output	0	0	0
C	output	0	0	0
D	output	0	0	-12.9
E	output	-24	0	-15
F	output	0	0	0
G	output	0	-3.3	0
H	output	0	-6.7	0
I	output	-11.6	0	0
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	0	0

Tabela 64 - Resultados BCC - Output (continuação 5)

DMU	Modelo BCC	Percent SCB	Percent EB	Percent Colaboração
A	output	0	0	0
B	output	180.1	113	113
C	output	0	0	0
D	output	314.4	94.2	94.2
E	output	395	16847.7	395
F	output	0	0	0
G	output	76	725.5	53.3
H	output	2445.5	386.2	270
I	output	68.4	163.4	68.4
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	0	0

Tabela 65 - Resultados BCC - Output (continuação 6)

DMU	Modelo BCC	Diff Qualidade	Diff Fiabilidade	Diff Situação Económica
A	output	0	0	0
B	output	0	0	0
C	output	0	0	0
D	output	0	0	-0.78
E	output	-1.2	0	-0.9
F	output	0	0	0
G	output	0	-0.2	0
H	output	0	-0.4	0
I	output	-0.69	0	0
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	0	0

Tabela 66 - Resultados BCC - Output (continuação 7)

DMU	Modelo BCC	<i>Diff SCB</i>	<i>Diff EB</i>	<i>Diff Colaboração</i>
A	output	0	0	0
B	output	234.11	203.33	3.39
C	output	0	0	0
D	output	415	226	2.83
E	output	335.73	336.95	7.9
F	output	0	0	0
G	output	133	341	3.2
H	output	269	251	5.4
I	output	212.02	294.04	2.74
J	output	0	0	0
K	output	0	0	0
L	output	0	0	0

Tabela 67 - Resultados BCC - Output (continuação 8)

DMU	Modelo BCC	<i>Refs</i>	<i>Peers</i>	<i>IO Cont Qualidade</i>	<i>IO Cont Fiabilidade</i>
A	Output	1	0	37.5	0
B	Output	0	4	70	0
C	Output	3	0	100	0
D	Output	0	3	100	0
E	Output	0	2	0	100
F	Output	7	0	100	0
G	Output	0	3	46.4	0
H	Output	0	3	40.9	0
I	Output	0	3	0	0
J	Output	6	0	60	0
K	Output	4	0	54.5	0
L	Output	3	0	0	0

Tabela 68 - Resultados BCC - Output (continuação 9)

DMU	Modelo BCC	<i>IO Cont Situação Económica</i>	<i>IO Cont SCB</i>	<i>IO Cont EB</i>	<i>IO Cont Colaboração</i>
A	Output	62.5	0	0	100
B	Output	30	0	86.7	13.3
C	Output	0	0	96.1	3.9
D	Output	0	0	93.3	6.7
E	Output	0	35.6	0	64.4
F	Output	0	16.3	83.7	0
G	Output	53.6	0	0	100
H	Output	59.1	0	0	100
I	Output	100	69.9	0	30.1
J	Output	40	28.4	0	71.6
K	Output	45.5	100	0	0
L	Output	100	100	0	0

Tabela 69 - Resultados BCC - Output (continuação 10)

DMU	Modelo BCC	Primal Qualidade	Primal Fiabilidade	Primal Situação Económica
A	Output	720	0	480
B	Output	207.8	0	71.1
C	Output	300	0	0
D	Output	161.7	0	0
E	Output	0	2091.2	0
F	Output	161.5	0	0
G	Output	180	0	260
H	Output	540	0	780
I	Output	0	0	59
J	Output	0	0	0
K	Output	0	0	0
L	Output	0	0	1162.2

DMU	Modelo BCC	Primal SCB	Primal EB	Primal Colaboração
A	Output	0	0	220
B	Output	0	260	48.9
C	Output	0	185.3	21.6
D	Output	0	210	24.4
E	Output	242.7	0	354.4
F	Output	19.3	188.4	0
G	Output	0	0	183.3
H	Output	0	0	550
I	Output	130.7	0	82.8
J	Output	49	0	71.6
K	Output	100	0	0
L	Output	487.4	0	0

Tabela 70 - Resultados BCC - Output (continuação 11)

DMU	Modelo BCC	L-Peer Qualidade	L-Peer Fiabilidade	L-Peer Situação Económica	L-Peer SCB
A	Output	A			
B	Output	C	F	J	K
C	Output	C			
D	Output	C	F	K	
E	Output	F	J		
F	Output	F			
G	Output	F	J	L	
H	Output	F	J	L	
I	Output	F	J	K	
J	Output	J			
K	Output	K			
L	Output	L			

II. Orientação *input*

Units		BCC Input			
Unit name	Score	Efficient	Condition	Scale	
A	100.0%	✓	●	→	
B	83.7%		●	↓	
C	100.0%	✓	●	→	
D	84.8%		●	↓	
E	83.3%		●	↓	
F	100.0%	✓	●	→	
G	89.6%		●	↓	
H	83.3%		●	↓	
I	90.4%		●	↓	
J	100.0%	✓	●	→	
K	100.0%	✓	●	→	
L	100.0%	✓	●	→	

Figura 56 - Índices de eficiência (com sistema traffic light) BCC – *Input*

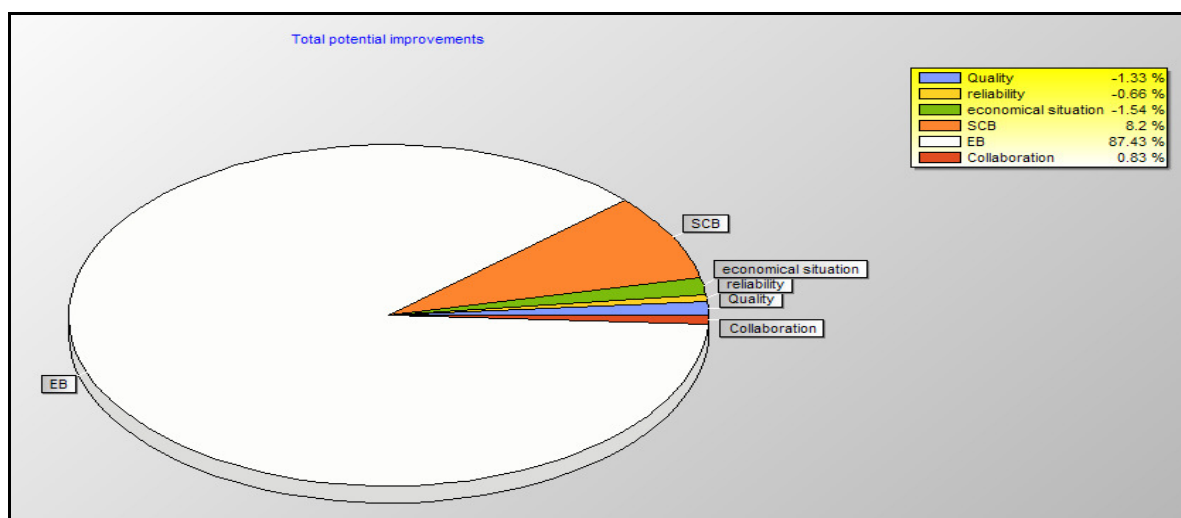


Figura 57 - Gráfico das melhorias totais(Total potential improvements) BCC – *Input*

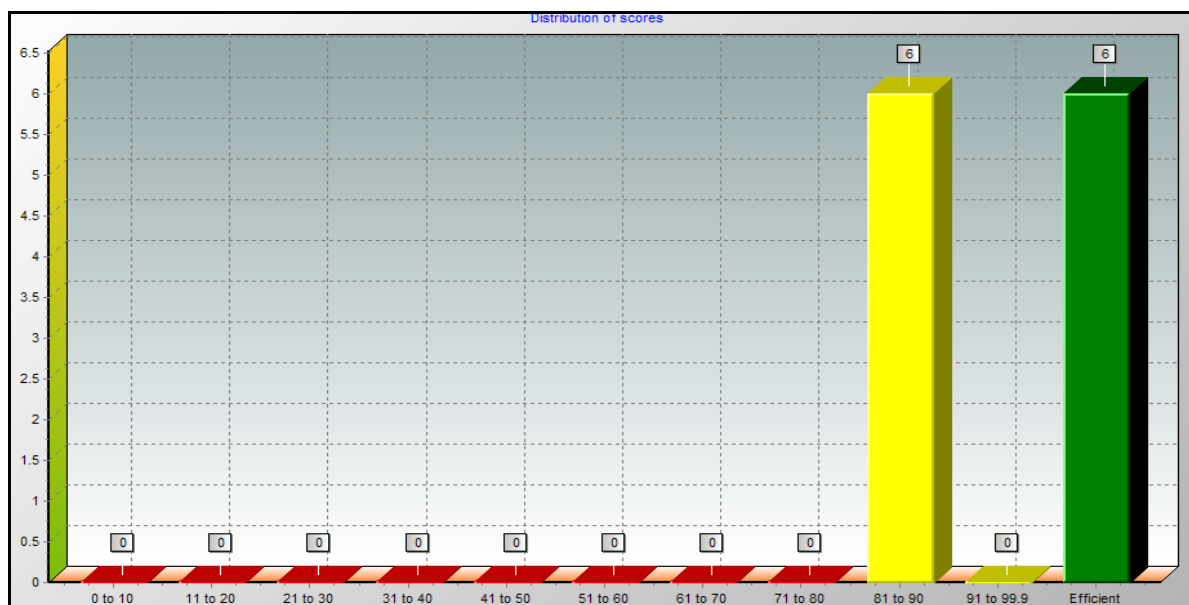


Figura 58 - Frequências absolutas dos índices de eficiência BCC - *Input*

Tabela 71 - Resultados BCC - Input

DMU	Modelo BCC	Score	RTS	Actual Qualidade	Actual Fiabilidade
A	Input	100	0	2	6
B	Input	83.73	1	4	6
C	Input	100	0	2	6
D	Input	84.85	1	5	6
E	Input	83.33	1	5	6
F	input	100	0	2	6
G	input	89.58	1	5	6
H	input	83.33	1	4	6
I	input	90.37	1	6	6
J	input	100	0	6	6
K	input	100	0	6	6
L	input	100	0	3	5
DMU	Modelo BCC	Actual Situação Económica	Actual SCB	Actual EB	Actual Colaboração
A	Input	5	125	160	5
B	Input	5	130	180	3
C	Input	5	70	280	2
D	Input	6	132	240	3
E	Input	6	85	2	2
F	Input	6	490	240	9
G	Input	4	175	47	6
H	Input	4	11	65	2
I	Input	5	310	180	4
J	Input	4	336	460	11
K	Input	5	580	540	5
L	Input	3	119	210	3

Tabela 72 - Resultados BCC - Input (continuação 1)

DMU	Modelo BCC	Target Qualidade	Target Fiabilidade	Target Situação Económica
A	Input	2	6	5
B	Input	3.07	5.02	3.05
C	Input	2	6	5
D	Input	3.27	5.09	3.18
E	Input	3	5	3
F	Input	2	6	6
G	Input	4.13	5.38	3.38
H	Input	3	5	3
I	Input	4.11	5.42	3.88
J	Input	6	6	4
K	Input	6	6	5
L	Input	3	5	3

Tabela 73 - Resultados BCC - Input (continuação 2)

DMU	Modelo BCC	Target SCB	Target EB	Target Colaboração
A	Input	125	160	5
B	Input	130	217.87	3.05
C	Input	70	280	2
D	Input	160.91	240	3.18
E	Input	119	210	3
F	Input	490	240	9
G	Input	200.37	303.75	6
H	Input	119	210	3
I	Input	310	337.53	4
J	Input	336	460	11
K	Input	580	540	5
L	Input	119	210	3

Tabela 74 - Resultados BCC - Input (continuação 3)

DMU	Modelo BCC	Percent Qualidade	Percent Fiabilidade	Percent Situação Económica
A	input	0	0	0
B	input	-23.2	-16.3	-39
C	input	0	0	0
D	input	-34.5	-15.2	-47
E	input	-40	-16.7	-50
F	input	0	0	0
G	input	-17.5	-10.4	-15.6
H	input	-25	-16.7	-25
I	input	-31.5	-9.6	-22.3
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	0	0	0

Tabela 75 - Resultados BCC - Input (continuação 4)

DMU	Modelo BCC	Percent SCB	Percent EB	Percent Colaboração
A	input	0	0	0
B	input	0	21	1.6
C	input	0	0	0
D	input	21.9	0	6.1
E	input	40	10400	50
F	input	0	0	0
G	input	14.5	546.3	0
H	input	981.8	223.1	50
I	input	0	87.5	0
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	0	0	0

Tabela 76 - Resultados BCC - Input (continuação 5)

DMU	Modelo BCC	<i>Diff Qualidade</i>	<i>Diff Fiabilidade</i>	<i>Diff Situação Económica</i>
A	input	0	0	0
B	input	-0.93	-0.98	-1.95
C	input	0	0	0
D	input	-1.73	-0.91	-2.82
E	input	-2	-1	-3
F	input	0	0	0
G	input	-0.88	-0.62	-0.62
H	input	-1	-1	-1
I	input	-1.89	-0.58	-1.12
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	0	0	0

Tabela 77 - Resultados BCC - Input (continuação 6)

DMU	Modelo BCC	<i>Diff SCB</i>	<i>Diff EB</i>	<i>Diff Colaboração</i>
A	input	0	0	0
B	input	0	37.87	0.05
C	input	0	0	0
D	input	28.91	0	0.18
E	input	34	208	1
F	input	0	0	0
G	input	25.37	256.75	0
H	input	108	145	1
I	input	0	157.53	0
J	input	0	0	0
K	input	0	0	0
L	input	0	0	0

Tabela 78 - Resultados BCC - Input (continuação 7)

DMU	Modelo BCC	<i>Refs</i>	<i>Peers</i>	<i>IO Cont Qualidade</i>	<i>IO Cont Fiabilidade</i>
A	<i>Input</i>	1	0	37.5	0
B	<i>Input</i>	0	2	0	100
C	<i>Input</i>	1	0	27.8	0
D	<i>Input</i>	0	2	0	100
E	<i>Input</i>	0	1	0	100
F	<i>Input</i>	2	0	16.2	0
G	<i>Input</i>	0	2	0	100
H	<i>Input</i>	0	1	0	100
I	<i>Input</i>	0	3	0	100
J	<i>Input</i>	2	0	58.4	0
K	<i>Input</i>	4	0	41	0
L	<i>Input</i>	7	0	66.7	0

Tabela 79 - Resultados BCC - Input (continuação 8)

DMU	Modelo BCC	<i>IO Cont Situação Económica</i>	<i>IO Cont SCB</i>	<i>IO Cont EB</i>	<i>IO Cont Colaboração</i>
A	<i>Input</i>	62.5	0	0	100
B	<i>Input</i>	0	100	0	0
C	<i>Input</i>	72.2	0	100	0
D	<i>Input</i>	0	0	100	0
E	<i>Input</i>	0	44.1	1.1	54.8
F	<i>Input</i>	83.8	100	0	0
G	<i>Input</i>	0	0	0	100
H	<i>Input</i>	0	5.9	37.5	56.6
I	<i>Input</i>	0	77.5	0	22.5
J	<i>Input</i>	41.6	0	0	100
K	<i>Input</i>	59	100	0	0
L	<i>Input</i>	33.3	NAN	NAN	NAN

Tabela 80 - Resultados BCC - Input (continuação 9)

DMU	Modelo BCC	<i>Primal Qualidade</i>	<i>Primal Fiabilidade</i>	<i>Primal Situação Económica</i>	<i>Primal SCB</i>	<i>Primal EB</i>
A	<i>Input</i>	112.5	0	75	0	0
B	<i>Input</i>	0	100	0	21	0
C	<i>Input</i>	83.4	0	86.6	0	115.5
D	<i>Input</i>	0	100	0	0	27.3
E	<i>Input</i>	0	100	0	0	0
F	<i>Input</i>	48.5	0	83.8	118.4	0
G	<i>Input</i>	0	100	0	0	0
H	<i>Input</i>	0	100	0	0	0
I	<i>Input</i>	0	100	0	19.1	0
J	<i>Input</i>	58.4	0	62.3	0	0
K	<i>Input</i>	41	0	70.8	100	0
L	<i>Input</i>	133.3	0	66.7	0	0

DMU	Modelo BCC	<i>Primal Colaboração</i>	<i>L-Peer Qualidade</i>	<i>L-Peer Fiabilidade</i>	<i>L-Peer Situação Económica</i>	<i>L-Peer SCB</i>
A	<i>Input</i>	34.4	A			
B	<i>Input</i>	0	K	L		
C	<i>Input</i>	0	C			
D	<i>Input</i>	0	K	L		
E	<i>Input</i>	0	L			
F	<i>Input</i>	0	F			
G	<i>Input</i>	22.9	J	L		
H	<i>Input</i>	0	L			
I	<i>Input</i>	8.2	F	K	L	
J	<i>Input</i>	100	J			
K	<i>Input</i>	0	K			
L	<i>Input</i>	0	L			

Anexo E - CD

No CD, anexo G, estão presentes três ficheiros:

1. **Programas:** podemos aqui encontrar os ficheiros executáveis de alguns dos *softwares* disponíveis na *internet*;
2. **Dissertação:** onde a dissertação está gravada digitalmente em formato .pdf e *Word*.

